การพัฒนาเครื่องวัดความต้านทานของดิน (ระยะที่ 1)

Development of cone Penetrometer (Phase I)

นายวิวรรธน์ ใครน้ำ รหัสนิสิต 57362491

นายสุทธิพงษ์ มณีสาคร รหัสนิสิต 57362590

นายอนันต์ กอนวงษ์ รหัสนิสิต 57362668

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2560

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การพัฒนาเครื่องวัดความต้านทานของดิน (ระยะที่ 1)

ผู้ดำเนินโครงงาน นายวิวรรธน์ ใครน้ำ รหัสนิสิต 57362491

นายสุทธิพงษ์ มณีสาคร รหัสนิสิต 57362590

นายอนันต์ กอนวงษ์ รหัสนิสิต 57362668

ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร.รัตนา การุญบุญญานันท์

ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2560

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผศ.ดร.รัตนา การุญบุญญานันท์)

.....ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน

(ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

.....กรรมการ

(ผศ.ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน การพัฒนาเครื่องวัดความต้านทานของดิน (ระยะที่ 1)
ผู้ดำเนินโครงงาน นายวิวรรธน์ ใครน้ำ รหัสนิสิต 57362491
นายสุทธิพงษ์ มณีสาคร รหัสนิสิต 57362590
นายอนันต์ กอนวงษ์ รหัสนิสิต 57362668
ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร.รัตนา การุญบุญญานันท์
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2560

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของวงจรและระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการพัฒนาเครื่องวัดความต้านทานของดินชนิดสถิต (static penetrometer) ที่สามารถแสดงผลค่าความต้านทานของดินที่ระดับความลึกต่างๆ ทุกวินาที และสามารถทำการวัดค่าได้ถึงระดับความลึก 80 เซนติเมตร พร้อมทั้งบันทึกค่าความลึกและค่าความต้านทานของดินได้ และสามารถดูข้อมูลผ่านไฟล์ตระกูล Excel ในคอมพิวเตอร์ได้ โดยชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินมีส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน คือ อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการวัดความต้านทานของดินโดยใช้โหลดเซลล์ อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการวัดความลึก โดยใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการประมวลผล โดยใช้บอร์ด Arduino Mega 2560 อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการบันทึกข้อมูล โดยใช้ Micro SD card และอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการแสดงผล โดยใช้จอ LCD ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์โดยทำการสอบเทียบค่าสัญญาณทางไฟฟ้าที่อ่านได้ เมื่อเชื่อมต่อกับโหลดเซลล์และใส่ภาระขนาดต่างๆ โดยใช้บอร์ด Arduino Uno เปรียบเทียบกับเครื่อง SCXI จากการทดสอบพบว่ากราฟมีลักษณะเหมือนกันทั้ง 2 แหล่งข้อมูล และจากการศึกษาการทำงานของ Encoder ที่เชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino Uno พบว่าสามารถใช้งานได้ แต่ Encoder มีราคาแพงและมีความซับซ้อนด้านโปรแกรม จึงได้เปลี่ยนมาศึกษาตัววัดความต้านทานแบบปรับค่าได้ สำหรับการใช้งานชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินได้ออกแบบให้ รีเซตค่าความต้านทานของดินและความลึก และเมื่อกดปุ่มบันทึกชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินจะนำข้อมูลบันทึกลงใน Micro SD card ทำให้ผู้ใช้งานสามารถนำค่าความต้านทานของดินและความลึกมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของดินกับความลึกได้ และมีระบบป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ โดยจะมีเสียงแจ้งเตือนและหน้าจอแสดงผลแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานหยุดการใช้งานถ้ากดดินถึงระดับความลึก 80 เซนติเมตร

Project title	Development Cone Penetrometer (Phase I)
Name	Mr. Wiwat Krinum ID. 57362491
	Mr. Sutthipong Maneesakorn ID. 50362590
	Mr. Anan Kornwong ID. 50362668
Project advisor	Asst. Prof. Dr. Rattana Karoonboonyanan
Co – Advisor	Dr. Pongpun Othaganont
Major	Mechanical Engineering
Department	Mechanical Engineering
Academic year	2018

.....

Abstract

This project aims to study the feasibility of implementing a static cone penetrometer using Arduino microcontroller. The cone penetrometer is expected to be used for measuring soil resistant of maximum depth at 80 centimeters. The value of test results are displayed and recorded data in a SD card every one second. The apparatus consists of 5 main parts including force sensor (load cell), depth meter (variable resistor), controller (Arduino Mega 2560), LCD display and micro SD card reader. Results from load cell were calibrated against the National Instrument, SCXI strain gauge transducers. The cone penetrometer provides functions to manually reset the depth value, to indicate a maximum length and prevent the depth meter damage. This study shows that it is possible to implement a low cost cone penetrometer using Arduino microcontroller. The prototype apparatus will be developed and tested in the future work. and depth. When hitting a record unit measuring the resistance of the soil to the data recorded on the Micro SD card, users can take the resistance of the soil and the depth to create a graph to determine the relationship between soil resistance to the depth.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.รัตนา การุญบุญญานันท์ และ ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์ ที่ได้ให้คำปรึกษาจนโครงงานประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว และ ผศ.ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ

ขอขอบคุณ คุณวรรณชัย รงค์ทอง ที่ได้ให้ความรู้ทางด้านการเขียนภาษาซี เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน

สุดท้ายนี้ คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณผู้ให้กำเนิดทั้งบิดามารดาที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้ดำเนินโครงงาน

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายวิวรรธน์ ใครน้ำ

นายสุทธิพงษ์ มณีสาคร

นายอนันต์ กอนวงษ์

กรกฎาคม 2561

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญานิพนธ์	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ	2
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน	3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน	3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	5
2.1 ความสำคัญของการวัดค่าความต้านทานของดิน	5
2.2 อุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน	6
2.3 อุปกรณ์ในชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน	12
2.4 สมการที่ใช้ในโครงงาน	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน	23
3.1 แนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน	23
3.2 การศึกษาหลักการทำงานของโหลดเซลล์เพื่อใช้ในการหาค่าความต้านทานของดิน	25
3.3 การศึกษาหลักการทำงานของ Encoder เพื่อใช้ในการหาค่าความลึก	30
3.4 การศึกษาหลักการทำงานของตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อหาค่าความลึก	31
3.5 การนำอุปกรณ์ต่างๆ มารวมกันเพื่อสร้างชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน	34
บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน	41
4.1 ผลการศึกษาหลักการทำงานของโหลดเซลล์	42
4.2 ผลการศึกษาหลักการทำงานของ Encoder	46
4.3 ผลการศึกษาหลักการทำงานของตัวต้านทานปรับค่าได้	47
4.4 ผลจากการนำอุปกรณ์ต่างๆ มารวมกันเพื่อสร้างชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน	49
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	53
5.1 บทสรุป	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก ก	58
ภาคผนวก ข	62
ภาคผนวก ค	65
ภาคผนวก ง	68
ภาคผนวก จ	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน	3
2.1 การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดความต้านทานดิน	10
2.2 การเปรียบเทียบบอร์ด Arduino ที่มีใช้ในโครงงาน	16

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของชั้นดิน	5
2.2 มาตรฐานหัววัดรูปกรวยสำหรับอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน	6
2.3 อุปกรณ์วัดความต้านทานดินชนิดสถิต	7
2.4 อุปกรณ์วัดความต้านทานของดินชนิดพลวัต	8
2.5 Static cone penetrometer รุ่น H - 4120HA	9
2.6 Static cone penetrometer (SCP) รุ่น H - 4210A	9
2.7 Digital, static cone penetrometer (DSCP) รุ่น HS - 4210	9
2.8 โหลดเซลล์	12
2.9 วงจรวิจสโตน บริดจ์	13
2.10 Weight sensor amplifier module (HX711)	13
2.11 หลักการทำงานของ Encoder	14
2.12 โครงสร้างของตัวต้านทานปรับค่าได้ แบบเชิงมุม	14
2.13 SCXI	15
2.14 บอร์ด Arduino	16
2.15 Micro SD Card Module รุ่น ET – MINI SPI Micro SD	17
2.16 Real time clock module รุ่น DS1307 จาก Catalex เวอร์ชั่น 1.1	18
2.17 จอแสดงผล LCD แบบต่างๆ	18
2.18 Jumper wires	19
2.19 ลำโพง	19
2.20 ปุ่มกด	20
2.21 ปุ่มกดแบบกระดก	20
2.22 หลอดไฟ LED	21
2.23 แผ่น Printed Circuit Board	21
3.1 การออกแบบ Cone penetrometer model G1	24
3.2 การออกแบบ Cone penetrometer model G2	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 ทำแท่นและติดตั้งโหลดเซลล์	26
3.4 การเชื่อมต่อโหลดเซลล์เข้ากับบอร์ด Arduino Uno	27
3.5 การชั่งน้ำหนัก	29
3.6 แขวนตุ้มน้ำหนัก	29
3.7 เชื่อมต่อโหลดเซลล์เข้ากับเครื่อง SCXI	30
3.8 การเชื่อมต่อ Encoder เข้ากับบอร์ด Arduino Uno	31
3.9 การเชื่อมต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เข้ากับบอร์ด Arduino Mega 2560	32
3.10 ตัวต้านทานปรับค่าได้ยี่ห้อ RS Components Co., Ltd	33
3.11 การวัดความลึกโดยการเทียบกับความสูงที่ทราบค่าแน่นอน	34
3.12 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมวัดความต้านทานของดิน	38
3.13 เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าบอร์ด Arduino Mega 2560	39
3.14 แผนภาพเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าบอร์ด Arduino Mega 2560	40
4.1 แบบจำลองชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน	41
4.2 ค่าที่ได้จากการเขียนโปรแกรม เพื่อหาสัญญาณทางไฟฟ้าจากโหลดเซลล์	42
4.3 ผลการทดลองจากบอร์ด Arduino Uno	43
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทางไฟฟ้ากับน้ำหนัก	43
4.5 ค่าที่ได้จากการเขียนโปรแกรมชั่งน้ำหนัก หน่วยเป็น กิโลกรัม	44
4.6 ผลการทดลองจากเครื่อง SCXI	45
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับน้ำหนัก	45
4.8 ผลที่ได้จากการเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบการทำงานของ Encoder	46
4.9 สัญญาณดิจิตอลจาก Encoder	47
4.10 การสอบเทียบค่าความลึกจริงกับสัญญาณอนาล็อก	47
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกจริงกับค่าสัญญาณอนาล็อก	48
4.12 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความลึกจริงกับความลึกจากบอร์ด Arduino Mega 2560 ที่ระดับความลึกต่างๆ	48

4.13 อุปกรณ์พบ Micro SD Card 49
4.14 อุปกรณ์ไม่พบ Micro SD Card 50
4.15 แสดงผลชื่อไฟล์ 50
4.16 อุปกรณ์ทำงานโดยกดปุ่มบันทึก และความลึกของอุปกรณ์อยู่ในช่วง 5 เซนติเมตร 50
4.17 อุปกรณ์ทำงานโดยไม่กดปุ่มบันทึก และความลึกของอุปกรณ์อยู่ในช่วง 5 เซนติเมตร 51
4.18 อุปกรณ์ทำงานโดยกดปุ่มรีเซต 51
4.19 แสดงผลเมื่อหมุนตัวตัวต้านทานเกิน 8 รอบ 51
4.20 การบันทึกและเขียนข้อมูลลง Micro SD Card 52

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

สัญลักษณ์		ความหมาย	หน่วย
A	=	พื้นที่หน้าตัดโคนกรวย	m^2
F	=	แรงกด	*N*
σ	=	ความต้านทานของดิน	N/m^2 *หรือ Pa*

อักษรย่อ		ความหมาย
ASABE	=	The American Society of Agricultural and Biological Engineering
DAQ	=	Data acquisition
LCD	=	Liquid Crystal Display
PCB	=	Printed Circuit Board
SCP	=	Static cone penetrometer
SCXI	=	Signal conditioning extensions for instrumentation
SPI	=	Serial Peripheral Interface
RTC	=	Real time clock module

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในการพัฒนาเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับดิน เช่น การไถเตรียมดิน การไถดินดาน เครื่องมือเพาะปลูก เป็นต้น จำเป็นที่ต้องรู้สมบัติทางกายภาพของดิน ความแข็งของดิน เป็นตัวแปรหนึ่งที่จำเป็นจะต้องรู้ เพื่อให้สามารถออกแบบอุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ ให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถทำงานได้ตามเป้าหมาย

ดรรชนีที่ใช้วัดความแข็งของดินมีหลายประเภท เช่น โมดูลัสของการแตก (modulus of rupture) ซึ่งวัดแรงเกาะกันของก้อนดินที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ ความเค้นเฉือน (shear strength) ซึ่งเป็นดรรชนีรวมที่ใช้วัดแรงของการเกาะตัวของอนุภาคและความฝืดของการขัดสีระหว่างอนุภาคดิน และความต้านทานการแทงทะลุ (penetration resistance) ซึ่งเป็นดรรชนีวัดความต้านทานต่อการแทงทะลุของดินเมื่อกดหัววัดรูปกรวยลงไปในดินเป็นต้น สำหรับการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่เกี่ยวกับการเพาะปลูก นิยมวัดความแข็งของดินเป็นความต้านทานต่อการแทงทะลุเพราะวิธีการวัดมีส่วนคล้ายกับกริยาการงอกผ่านดินของรากและยอดอ่อนของพืช ซึ่งอยู่ที่ประมาณ 2.5 MPa ที่รากพืชจะไม่สามารถแทงทะลุผ่านชั้นของดินได้

ความต้านทานต่อการแทงทะลุหมายถึงแรงกดต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดโคนกรวยที่ต้องใช้ในการส่งหัววัดขนาดมาตรฐานลงไปในดิน ผลการปฏิบัตินิยมรายงานเป็น ดรรชนีกรวย (cone index) ซึ่งหมายถึง แรงหรือความดันที่ต้องใช้ในการกดหัววัดลงในดินจากความลึกหนึ่งไปที่อีกความลึกหนึ่ง อุปกรณ์ที่ใช้วัดความต้านทานต่อการแทงทะลุคือ penetrometer ซึ่งมีด้วยกันสองแบบที่ใช้กันแพร่หลายคืออุปกรณ์วัดความแข็งของดินชนิดสถิต (static penetrometer) ซึ่งประกอบด้วย หัววัดทรงกรวย ก้านส่งหัววัด อุปกรณ์วัดแรงและด้ามจับ และอุปกรณ์วัดความแข็งของดินชนิดพลวัต (dynamic penetrometer) ซึ่งประกอบด้วยหัววัดรูปกรวยที่ใช้มาตรฐานเดียวกับชนิดสถิต มีก้านส่งหัววัดเหมือนกัน ต่างกันตรงแหล่งของแรงกดหัววัดลงดินซึ่งใช้การกระแทกของค้อน ดังนั้นส่วนบนของก้านส่งจะมีแป้นรองตอกและชุดค้อนแบบรูด (sliding hammer) [1]

เครื่องวัดความต้านทานของดินรูปแบบกรวย หรือที่เรียกว่า cone penetrometer มีจำหน่ายหลายรูปแบบ แต่มีราคาแพง และพบปัญหาในการใช้งาน เช่น ความเร็วในการกดไม่คงที่ การกดได้ไม่เป็นแนวดิ่ง มีความเมื่อยล้าในการใช้งานเนื่องจากต้องใช้แรงคนในการกด ในบางรุ่นที่มีจำหน่าย พบปัญหาเครื่องวัดไม่สามารถทำงานได้ถ้าสภาวะอากาศไม่เอื้ออำนวย เช่น อากาศร้อน ผู้จัดทำโครงงานจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องมือวัดความต้านทานของดิน ที่มีราคาถูกสามารถทำงานได้ดีถึงแม้ว่าจะอยู่ในกลางแดดและมีความแม่นยำในการวัดความต้านทานของดินมากขึ้น ใช้แรงในการกดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินน้อยลงและมีความเร็วคงที่ ในการพัฒนา

เครื่องวัดความต้านทานของดินในโครงงานนี้ จะเป็นการพัฒนาชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินที่สามารถวัดค่าประมวลผล บันทึกผล และแสดงผลจากการวัด เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาเครื่องวัดความต้านทานของดินต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ของวงจรและระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการพัฒนาเครื่องวัดความต้านทานของดิน

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Outputs)

1.3.1 ได้ชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินที่สามารถวัดแรงต้านทานของดินและความลึก สามารถแสดงผลของแรงและความลึกได้ทุกวินาที ก่อนเริ่มการใช้งานสามารถเซตค่าความลึกและแรงต้านทานของดินให้มีค่าเป็นศูนย์ได้ สามารถทำการวัดค่าได้ถึงระดับความลึก 80 เซนติเมตร พร้อมทั้งบันทึกค่าความลึกและค่าความต้านทานของดินได้ และสามารถบันทึกข้อมูลลงใน Micro SD card ได้

1.3.2 ได้ชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินที่มีฟังก์ชันในการใช้ทดแทนเครื่องมือที่มีราคาแพงได้

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcomes)

1.4.1 สามารถวัดแรงต้านของดินและแสดงผลทุกวินาทีได้

1.4.2 สามารถเซตค่าความลึกและแรงต้านของดินให้เป็นศูนย์ได้

1.4.3 สามารถบันทึกข้อมูลได้

1.4.4 สามารถดูข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ได้

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและศึกษาการทำงานของวงจรและระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์เครื่องวัดความต้านทานของดินที่มีขายตามท้องตลาดและร่างแบบเครื่องวัดความต้านทานของดินแบบเบื้องต้น โดยแสดงผลที่ระดับความลึกทุกวินาที สามารถวัดความลึกได้สูงสุด 80 เซนติเมตร พร้อมทั้งสามารถเซตค่าความลึกและแรงต้านของดินให้เป็นศูนย์ได้ ทำการสร้างชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินและทดสอบการใช้งานและวิเคราะห์ผล

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560 ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2561

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

1.8.1 ศึกษาหลักการและวิธีการทำงานเครื่องวัดความต้านทานดินรูปแบบต่างๆ ที่มีขายในปัจจุบัน

1.8.2 ออกแบบเครื่องวัดความต้านทานของดินในเบื้องต้น

1.8.3 ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เช่น โหลดเซลล์ เอ็นโค้ดเดอร์ ตัวต้านทานปรับค่าได้ เป็นต้น

1.8.4 ศึกษาโค้ด Arduino สำหรับเขียนโปรแกรมและเขียนโปรแกรม Arduino สำหรับใช้สร้างชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน

1.8.5 สอบเทียบผลการวัดค่าของโหลดเซลล์ จากชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินที่ทำการพัฒนาเปรียบเทียบกับเครื่อง SCXI

1.8.6 วิเคราะห์ผลการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในโครงงาน

1.8.7 สรุปผลและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	2560					2561						
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. ศึกษาหลักการและทฤษฎี	■	■										
2. ออกแบบเครื่องวัดความต้านทานของดินในเบื้องต้น			■	■	■							
3. ศึกษาการทำงานอุปกรณ์ต่างๆ			■	■	■	■	■	■				
4. ศึกษาโค้ด Arduino				■	■	■	■	■	■			
5. สอบเทียบผลการวัดค่าของโหลดเซลล์ เปรียบเทียบกับเครื่อง SCXI										■		

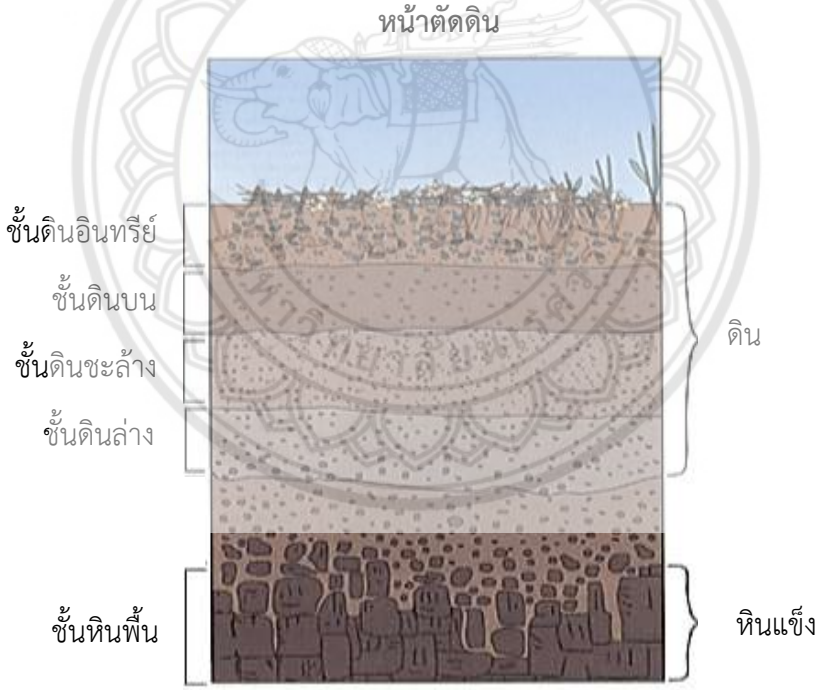
ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน (ต่อ)

การดำเนินโครงงาน	2560					2561						
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
6. วิเคราะห์การทำงาน												
7. สรุปผลและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์												

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ความสำคัญของการวัดค่าความต้านทานของดิน

จากการที่ดินเกิดมาจากอิทธิพลของปัจจัยกำเนิดดิน 5 ปัจจัย คือ ภูมิอากาศ วัตถุต้นกำเนิดดิน สภาพพื้นที่ สิ่งมีชีวิต และระยะเวลา ที่ควบคุมกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในดิน ดินจึงมีความหนาแน่นไม่เท่าเทียมกัน โดยแตกต่างไปตามสภาพแวดล้อมและช่วงเวลา จึงทำให้ดินที่เราพบมีความแตกต่างหลากหลายชนิด แต่ละชนิดมีลักษณะ สมบัติและองค์ประกอบที่แตกต่างกันไป บางแห่งเป็นดินเหนียว บางแห่งเป็นดินดาน บางแห่งเป็นทราย จากการมองดินในแนวลึก จะพบความแตกต่างของความหนาแน่นของดินได้ [2]



รูปที่ 2.1 ลักษณะของชั้นดิน [2]

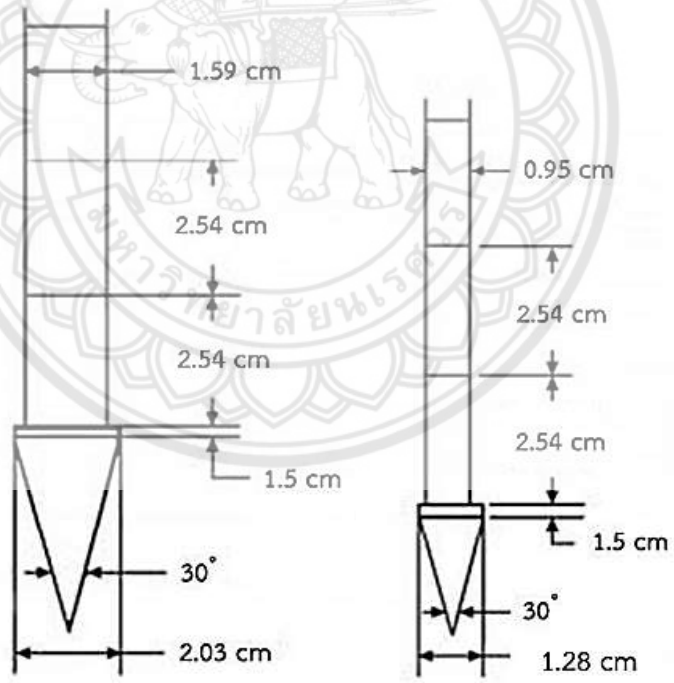
จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าดินมีความลึกหรือความหนาแน่นไม่เท่ากัน และในแนวดิ่งจะเห็นว่าดินนั้นมีการทับถมกันเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละชั้นจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสิ่งที่มีอยู่ภายในดิน เช่น สีดิน เนื้อดิน ชนิดของ

วัสดุหรือสิ่งที่ปะปนอยู่ในดิน เป็นต้น ในทางการเกษตร ได้แบ่งความลึกของดินออกเป็น 5 ชั้น โดยยึดเอาความลึกที่วัดจากผิวดินถึงชั้นที่ขัดขวางการเจริญเติบโตของพืชหรือการชอนไชของรากพืช ซึ่งชั้นที่ขัดขวางการเจริญของรากพืช ได้แก่ชั้นหินพื้น ชั้นดาน ชั้นศิลาแลง ชั้นกรวด หิน หรือลูกรังที่หนาแน่นมากๆ

2.2 รูปแบบอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน

2.2.1 มาตรฐานหัววัดรูปกรวยสำหรับอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน

The American Society of Agricultural and Biological Engineering (ASABE) ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับเครื่องวัดความต้านทานดินรูปทรงกรวยแบบสเตนเลส 30 องศา โดยมีมาตรฐานแนะนำกรวยพื้นฐาน 2 ประเภทคือ เป็นฐานโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 เซนติเมตรและเพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.59 เซนติเมตร (รูปที่ 2.2 (ก)) ใช้สำหรับดินอ่อนและอีกประเภทคือ ฐานโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.28 เซนติเมตรและเพลาเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร (รูปที่ 2.2 (ข)) ใช้สำหรับดินแข็ง



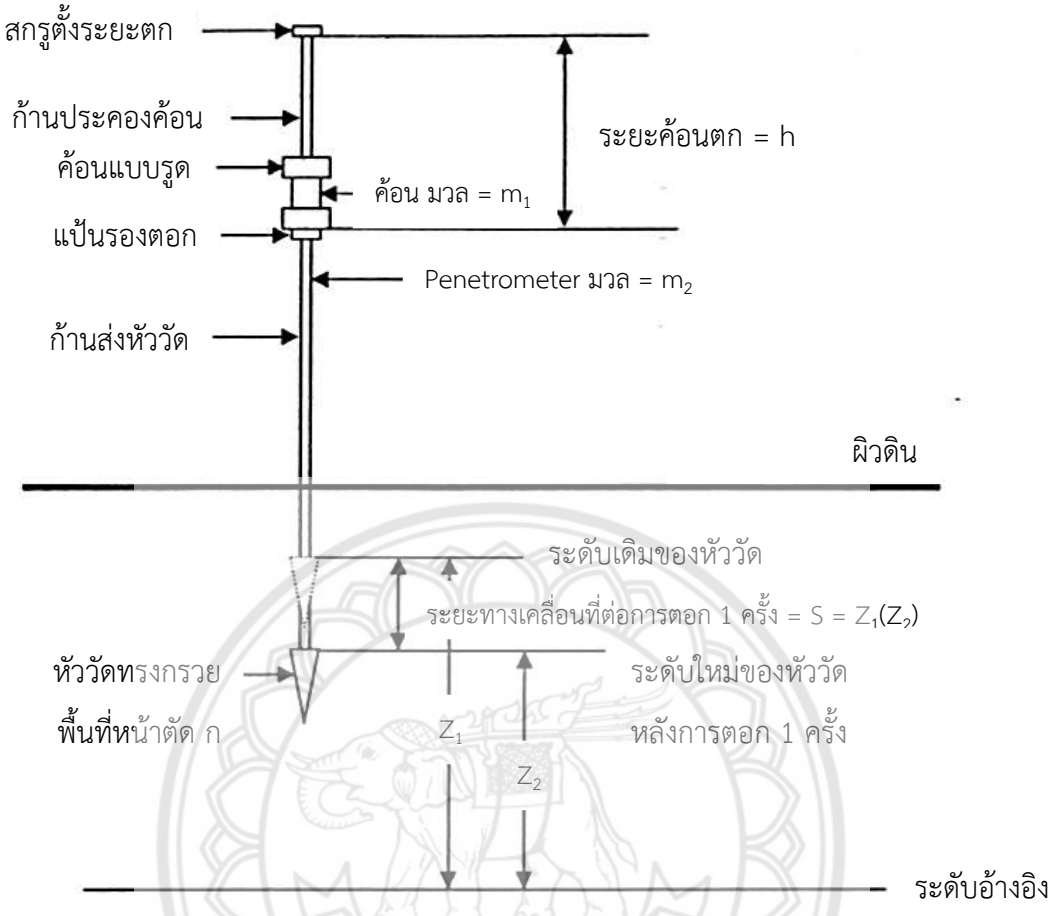
(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 มาตรฐานหัววัดรูปกรวยสำหรับอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน [3]

2.2.2 ชนิดของอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน

อุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน มีสองแบบที่ใช้กันแพร่หลายเป็นอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินชนิดสถิต (static penetrometer) ซึ่งประกอบด้วย หัววัดทรงกรวย ก้านส่งหัววัด อุปกรณ์วัดแรงและด้ามจับ ตามมาตรฐานกำหนดให้กดด้วยความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาที (รูปที่ 2.3) และอุปกรณ์วัดความแข็งของดินชนิดพลวัต (dynamic penetrometer) ซึ่งประกอบด้วยหัววัดรูปกรวยที่ใช้มาตรฐานเดียวกับชนิดสถิต มีก้านส่งหัววัดเหมือนกัน ต่างกันตรงแหล่งของแรงกดหัววัดลงดินซึ่งใช้การกระแทกของค้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.3 อุปกรณ์วัดความต้านทานดินชนิดสถิต [1]



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์วัดความต้านทานของดินชนิดพลวัต [1]

ในโครงงานนี้ ผู้จัดทำได้เลือกอุปกรณ์วัดความต้านทานดินชนิดสถิตมาเป็นแนวทางในการออกแบบเบื้องต้น เนื่องจากอุปกรณ์วัดความต้านทานดินชนิดสถิตต้องใช้ความเร็วในการกดที่คงที่ ทำให้ได้ค่าที่สม่ำเสมอ ต่างจากอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินชนิดพลวัตที่ใช้การกระแทกของค้อนและมีความเร็วไม่คงที่ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย

2.2.3 อุปกรณ์วัดความต้านทานของดินรูปแบบต่างๆ

2.2.3.1 Static cone penetrometer รุ่น H - 4120HA ของบริษัท HUMBOLDT

หลักการทำงานคือ ใช้มือจับบริเวณด้ามจับและออกแรงกดลงไปที่ดิน และอ่านข้อมูลแบบอนาล็อก ทำให้การอ่านการทดสอบและการบันทึกทำได้ค่อนข้างยาก

รูปที่ 2.5 Static cone penetrometer รุ่น H - 4120HA [4]

2.2.3.2 Static cone penetrometer (SCP) รุ่น H - 4210A ของบริษัท HUMBOLDT

หลักการทำงานคือ ใช้มือจับบริเวณด้ามจับและออกแรงกดลงไปที่ดิน และ SCP จะอ่านข้อมูลแบบอนาล็อก ทำให้ใช้งานง่ายในการอ่านการทดสอบและการบันทึก มีความถูกต้องที่น่าเชื่อถือ

รูปที่ 2.6 Static cone penetrometer (SCP) รุ่น H - 4210A [5]

2.2.3.3 Digital, static cone penetrometer (DSCP) รุ่น HS - 4210 ของบริษัท HUMBOLDT

หลักการทำงานคือ ใช้มือจับบริเวณด้ามจับและออกแรงกดลงไปที่ดิน และ DSCP จะอ่านข้อมูลแบบดิจิตอล ทำให้การอ่านการทดสอบและการบันทึกทำได้ง่าย และสามารถใช้เพื่อประเมินความสม่ำเสมอของดินโดยพิจารณาระดับการบดอัดของดิน

รูปที่ 2.7 Digital, static cone penetrometer (DSCP) รุ่น HS-4210 [6]

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดความต้านทานดิน

อุปกรณ์วัดความต้านทานดิน	ความสามารถในการทำงาน	การแสดงผล	ความลึกที่สามารถทำงานได้	ข้อดี	ข้อเสีย
รุ่น H-4120HA	1) ใช้แรงคนในการกด 2) แสดงผลแบบอนาล็อก 3) สามารถกดได้ลึกสุดที่ 48 เซนติเมตร (19 นิ้ว) 4) สามารถอ่านค่าทุกระดับความลึก	อนาล็อกและแสดงผลทันที	48 เซนติเมตร (19 นิ้ว)	1) ใช้งานได้สะดวก 2) น้ำหนักเบา (0.9 กิโลกรัม)	1) เหมาะสำหรับพื้นผิวดินที่ตื้น และมีลักษณะเนื้อดินที่ละเอียดหรือดินร่วน 2) ไม่สามารถควบคุมแรงกดให้คงที่ได้ 3) เกิดการเอียงทำมุมได้ง่าย
รุ่น H-4210A	1) ใช้แรงคนในการกด 2) แสดงผลแบบอนาล็อก 3) สามารถวัดได้ลึกสุดที่ 60.96 เซนติเมตร (24 นิ้ว) 4) สามารถอ่านค่าทุกระดับความลึก	อนาล็อกและแสดงผลทันที	61 เซนติเมตร (24 นิ้ว)	1) ใช้งานได้สะดวกและรวดเร็ว 2) น้ำหนักเบา 3) พกพาสะดวก 4) ดูแลเก็บรักษาได้ง่าย	1) เหมาะสำหรับพื้นผิวดินที่ตื้นและมีลักษณะเนื้อดินที่ละเอียดหรือดินร่วน 2) ไม่สามารถควบคุมแรงกดให้คงที่ได้ 3) เกิดการเอียงทำมุมได้ง่าย 4) เกิดความคลาดเคลื่อนง่าย

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดความต้านทานดิน (ต่อ)

อุปกรณ์วัดความต้านทานดิน	ความสามารถในการทำงาน	การแสดงผล	ความลึกที่สามารถทำงานได้	ข้อดี	ข้อเสีย
รุ่น HS-4210	1) ใช้แรงคนในการกด 2) แสดงผลแบบดิจิตอล 3) สามารถวัดได้ลึกสุดที่ 76.2 เซนติเมตร (30 นิ้ว) 4) สามารถอ่านค่าทุกระดับความลึก	ดิจิตอลและแสดงผลทันที	76 เซนติเมตร (30 นิ้ว)	1) ใช้งานได้สะดวกและรวดเร็ว 2) แสดงผลแบบดิจิตอลทำให้สามารถอ่านค่าได้ง่าย	1) การใช้งานเหมาะสำหรับพื้นผิวดินที่ตื้น และมีลักษณะเนื้อดินที่ละเอียดหรือดินร่วน 2) ไม่สามารถควบคุมแรงกดให้คงที่ได้ 3) เกิดการเอียงทำมุมได้ง่าย 4) การใช้งานไม่เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีแสงมาก

2.3 อุปกรณ์ในชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน

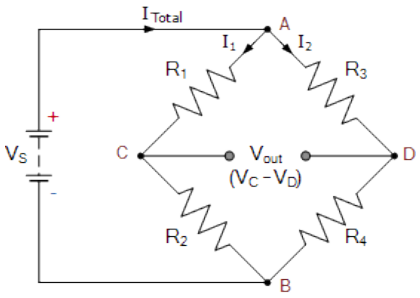
ชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินคือ ระบบควบคุมขนาดเล็ก มีหน้าที่เก็บข้อมูล ประมวลผล และแสดงผลผ่านจอ LCD โดยภายในชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 5 ส่วน คือ อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการวัดแรง อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการวัดความลึก อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการประมวลผล อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการบันทึกข้อมูล และอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการแสดงผล รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ มีดังต่อไปนี้

2.3.1 อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการวัดแรง

1) โหลดเซลล์ (Load cell)

โหลดเซลล์ คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าแรง หรือน้ำหนักที่กระทำกับโหลดเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยค่าของแรงหรือน้ำหนักที่ได้จะถูกตรวจจับด้วยสเตรนเกจ (Strain gage) ซึ่งสเตรนเกจจะเปลี่ยนค่าแรง หรือน้ำหนัก ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โหลดเซลล์มักจะประกอบไปด้วยสเตรนเกจสี่ตัว ซึ่งจัดเรียงวงจรในรูปแบบของวงจรวิจสโตน บริดจ์ (Wheatstone Bridge Circuit) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 แต่โหลดเซลล์ที่ประกอบไปด้วยสเตรนเกจหนึ่งตัวหรือสองตัวก็สามารถใช้งานได้เหมือนกัน และในปัจจุบันโหลดเซลล์ได้ถูกนำไปใช้กับงานที่หลากหลาย เช่น การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ การทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน การชั่งน้ำหนัก หรือประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์วัดภาระ (load) ในทิศทางต่างๆ ตามที่ต้องการ เป็นต้น [7] โดยในโครงงานนี้ผู้จัดทำได้ศึกษาหลักการทำงานและการเขียนโปรแกรมของโหลดเซลล์ขนาด 10 kg ที่มีราคาถูก

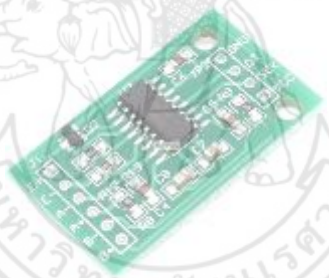
รูปที่ 2.8 โหลดเซลล์ [8]



รูปที่ 2.9 วงจรวิจสโตน บริดจ์ [9]

2) Weight sensor amplifier module (HX711)

เป็นโมดูลขยายสัญญาณจาก Load Cell และส่งค่าให้ Arduino ในรูปแบบดิจิตอล 24 bits เพื่อให้สามารถอ่านค่าได้ง่ายขึ้น และมีสายเชื่อมเข้ากับ Arduino หรือ MCU จำนวน 2 สาย และสายไฟเลี้ยงอีก 2 สาย โดยใช้ไฟเลี้ยง 2.6 - 5 Volt

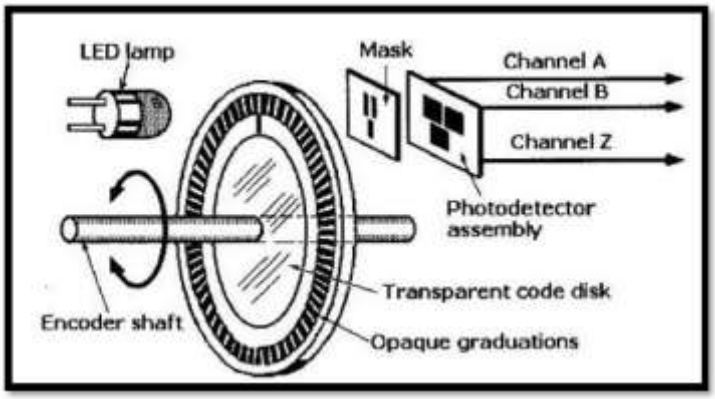


รูปที่ 2.10 Weight sensor amplifier module (HX711) [10]

2.3.2 อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการวัดความลึก

1) เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)

เอ็นโค้ดเดอร์ คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการเข้ารหัสจากระยะทางจากการหมุนรอบตัวเอง และแปลงออกมาเป็นรหัสในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้า (รูปที่ 2.11) โดยสามารถนำเอารหัสเหล่านี้มาแปลงกลับ เพื่อหาค่าต่างๆ ที่ต้องการได้ ไม่ว่าจะเป็นระยะทางการหมุน องศาการเคลื่อนที่ หรือความเร็วรอบก็ได้ แล้วนำมาแสดงผลให้ได้ทราบค่าผ่านหน้าจอแสดงผล เช่น ถ้าต้องการวัดระยะทาง จะต้องต่อเข้ากับตัวนับจำนวน และเพื่อแสดงผลเป็นระยะทางจะต้องต่อเข้ากับตัววัดพัลส์ โดยการประยุกต์ใช้เอ็นโค้ดเดอร์นั้นสามารถใช้ทำงานได้อย่างหลากหลาย



รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของ Encoder [11]

2) ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer)

ตัวต้านทานปรับค่าได้ เป็นทรานสดิวเซอร์วัดตำแหน่งและระยะทางชนิดเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน (Resistive position transducer) โดยอาศัยหลักการแปลงตำแหน่งและระยะการเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปของค่าความต้านทานไฟฟ้า โครงสร้างของตัวต้านทานปรับค่าได้ประกอบด้วยตัวต้านทานและหน้าสัมผัสที่สามารถเลื่อนไปมาบนตัวต้านทานได้ โดยหน้าสัมผัสสามารถเคลื่อนที่ในแนวเชิงมุม ซึ่งมีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นวงซ้อนหรือเกลียว (รูปที่ 2.12) ค่าความต้านทานของขดลวดที่พันบนแกนจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของแกน โดยค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นตามระยะการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสกับขดลวด และจำนวนรอบของการพันเส้นลวดบนแกนจะสัมพันธ์กับค่าความละเอียดของทรานสดิวเซอร์ หากต้องการค่าความละเอียดในการวัดสูงควรใช้เส้นลวดที่มีขนาดเล็ก ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าความต้านรวมให้สูงขึ้น

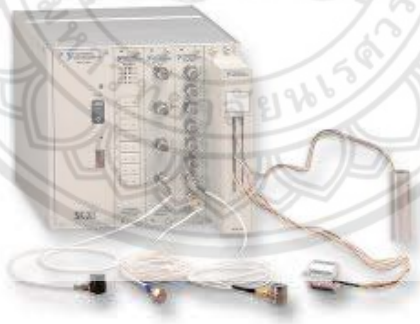
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของตัวต้านทานปรับค่าได้ แบบเชิงมุม [12]

ในโครงงานนี้ผู้จัดทำได้ศึกษาหลักการทำงานและการเขียนโปรแกรมของ Encoder โดยเลือกศึกษาในรูปแบบราคาถูก หลังจากการศึกษาพบว่าโปรแกรมของ Encoder มีลักษณะที่ซับซ้อน และต้องใช้เวลานานในการศึกษา พร้อมทั้งลักษณะการทำงานของ Encoder แบบราคาถูก มีศักยภาพไม่เหมาะกับการใช้งาน จึงทำให้ต้องใช้รุ่นที่มีราคาแพง ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้ยกเลิกการใช้งาน Encoder และเลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ เพราะใช้งานง่าย และราคาถูก

2.3.3 อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการประมวลผล

1) SCXI ของบริษัท National Instrument

Signal conditioning extensions for instrumentation (SCXI) ของบริษัท National Instrument แสดงดังรูปที่ 2.13 เป็นอุปกรณ์ที่สามารถรับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพแล้วจะเปลี่ยนค่าออกมาในรูปของสัญญาณไฟฟ้า (Electrical signal) และสัญญาณจะแสดงออกมาอยู่ในรูปของความต่างศักย์หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์นี้มีความละเอียดของสัญญาณที่ต้องการสูง และไม่มีการรบกวนสัญญาณในการวัด โดยส่วนใหญ่เครื่อง SCXI เป็นส่วนประกอบที่มีหน้าที่ปรับแต่งสภาพสัญญาณให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้เมื่อเข้าสู่ Data acquisition (DAQ) [13]



รูปที่ 2.13 SCXI [14]

2) บอร์ด Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source Platform สำหรับการสร้างต้นแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นบอร์ด Arduino จึงถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อยอดได้อีกด้วย

Arduino Platform ประกอบไปด้วย

2.1) ส่วนของ Hardware คือเป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เป็นชิ้นส่วนหลักสามารถมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นได้ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยบอร์ด Arduino มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ ซึ่งในแต่ละรุ่นก็มีความแตกต่างในเรื่องของขนาดและความสามารถ (รูปที่ 2.14)

2.2) ส่วนของ Software คือเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุม โดยใช้ภาษา C หรือ C++

(ก) บอร์ด Arduino รุ่น Uno (ข) บอร์ด Arduino รุ่น Mega 2560

รูปที่ 2.14 บอร์ด Arduino [15]

ในโครงงานนี้ผู้จัดทำได้เลือกใช้บอร์ด Arduino รุ่น Uno (รูปที่ 2.14 (ก)) ในการศึกษาการเขียนโปรแกรมขั้นพื้นฐาน และเลือกใช้บอร์ด Arduino รุ่น Mega 2560 ในการทดสอบจริง เนื่องมาจากบอร์ด Arduino รุ่น Mega 2560 (รูปที่ 2.14 (ข)) มีความจุและการประมวลผลที่ดีกว่าบอร์ด Arduino รุ่น Uno

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบบอร์ด Arduino ที่ใช้ในการทำโครงงาน

รายละเอียด	Arduino UNO	Arduino Mega 2560
Microcontroller	ATmega326	ATmega2560
Operating Voltage	5V	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)	54 (of which 15 provide PWM output)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบบอร์ด Arduino ที่ใช้ในการทำโครงงาน (ต่อ)

รายละเอียด	Arduino UNO	Arduino Mega 2560
Analog input Pins	6	16
Flash Memory	32 kB of which 0.5 kB used by boodloader	256 kB of which 8 kB used by boodloader
SRAM	2 kB	8 kB
EEPROM	1 kB	4 kB
Clock Speed	16 MHz	16 MHz

2.3.4 อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการบันทึกข้อมูล

1) Micro SD card module

โมดูล Micro SD card (รูปที่ 2.15) เป็นบอร์ดที่เชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับการ์ดหน่วยความจำ Micro-SD Card โดยใช้การเชื่อมต่อแบบ Serial Peripheral Interface (SPI) ซึ่งภายในบอร์ดมีวงจรแปลงระดับสัญญาณโลจิก (74LCX245) พร้อมวงจร Regulate 3.3V/1A ไว้ด้วย เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อการ์ดหน่วยความจำ กับ MCU ที่เป็นระบบ 5V ได้โดยตรง

รูปที่ 2.15 Micro SD Card Module รุ่น ET-MINI SPI Micro SD [16]

2) Real time clock module (RTC)

โมดูล RTC เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ค่าเวลาตามจริง (รูปที่ 2.16) ทำหน้าที่ในการบันทึกเวลาอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าจะไม่มีไฟเลี้ยงมายังบอร์ด แต่ตัวเวลายังคงนับได้ต่อ ทำให้ไม่เสียเวลามาตั้งเวลาใหม่หลังจากหยุดจ่ายไฟเลี้ยง โมดูล RTC จำเป็นอย่างมากในการใช้งานที่ต้องมีการบันทึกเวลา

รูปที่ 2.16 Real time clock module รุ่น DS1307 จาก Catalex เวอร์ชั่น 1.1 [17]

2.3.5 อุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการแสดงผล

1) จอแสดงผล Liquid Crystal Display (LCD)

จอ LCD เป็นจอแสดงผลรูปแบบหนึ่งที่นิยมนำมาใช้งานมาก ซึ่งจอ LCD มีทั้งแบบแสดงผลเป็นตัวอักขระเรียกว่า Character LCD ซึ่งมีการกำหนดตัวอักษรหรืออักขระที่สามารถแสดงผลไว้ได้ และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพหรือสัญลักษณ์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานเรียกว่า Graphic LCD นอกจากนี้บางชนิดเป็นจอที่มีการผลิตขึ้นมาใช้เฉพาะงาน ทำให้มีรูปแบบและรูปร่างเฉพาะเจาะจงในการแสดงผล เช่น นาฬิกาดิจิตอล เครื่องคิดเลข หรือ หน้าปัดวิทยุ เป็นต้น

(ก) Character LCD (ข) Graphic LCD

รูปที่ 2.17 จอแสดงผล LCD แบบต่างๆ [18]

ในโครงงานนี้ผู้จัดทำได้ศึกษาหลักการทำงานและการเขียนโปรแกรมให้สอดคล้องกับจอแสดงผล LCD เพราะต้องการให้ค่าที่ได้จากการทดลองแสดงผลออกมาผ่านจอ LCD เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถอ่านค่าได้อย่างสะดวก และเนื่องจากค่าที่แสดงผลมีจำนวนไม่มาก ผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้จอแสดงผล LCD แบบ 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

2) สายไฟ (Jumper wires)

สายไฟ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ส่งพลังงานไฟฟ้าจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยกระแสไฟฟ้าจะเป็นตัวนำพลังงานไฟฟ้าผ่านไปตามสายไฟจนถึงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สายไฟทำด้วยวัตถุที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ส่วนมากมักจะใช้ลวดทองแดง มีลักษณะหลายแบบ เช่น ผู้-ผู้ เมีย-เมีย และผู้-เมีย เป็นต้น แต่ละแบบแตกต่างกันตรงปลายสายไฟทั้งสองข้าง

รูปที่ 2.18 Jumper wires [19]

ในโครงงานนี้ผู้จัดทำได้ศึกษาและใช้งานสายไฟในการเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงานไฟฟ้า โดยลักษณะสายไฟแบบ ผู้-ผู้ เมีย-เมีย และผู้-เมีย ผู้จัดทำได้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงาน และจากการใช้งานสายไฟพบว่าสายไฟและหัวเสียบมีความบอบบาง จึงทำให้ต้องเปลี่ยนสายไฟบ่อย และสิ้นเปลือง

3) ลำโพง (Buzzer)

Buzzer คือลำโพงแบบแม่เหล็กที่มีวงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator) อยู่ภายในตัว ใช้ไฟเลี้ยง 3.3 - 5V สามารถสร้างเสียงเตือนหรือส่งสัญญาณที่เป็นรูปแบบต่างๆ นิยมใช้มากในอุปกรณ์ไฟฟ้า เพราะหาง่ายและราคาถูก

รูปที่ 2.19 ลำโพง [20]

4) ปุ่มกด (Push button switch)

ปุ่มกดแบบ Push button switch เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานสำหรับเปิดหรือปิดการทำงานในปุ่มเดียวกัน แบ่งออกเป็น 2 แบบดังนี้

4.1) กดติดปล่อยดับ คือขณะกดปุ่มสวิตช์เป็นการต่อ (ON) เมื่อปล่อยมือออกจากปุ่มสวิตช์เป็นการตัด (OFF) ทันที เช่น ปุ่มเปิดโทรทัศน์

4.2) กดติดกดดับ คือกดปุ่มสวิตช์หนึ่งครั้งสวิตช์ต่อ (ON) และเมื่อกดปุ่มสวิตช์อีกหนึ่งครั้งสวิตช์ตัด (OFF) การทำงานเป็นเช่นนี้ตลอดเวลา

(ก) ปุ่มกดแบบกดติดปล่อยดับ (ข) ปุ่มกดแบบกดติดกดดับ

รูปที่ 2.20 ปุ่มกด [21]

5) ปุ่มกดแบบกระดก (Rocker Switch)

ปุ่มกดแบบกระดก เป็นสวิตช์ที่ใช้งานโดยการกด เมื่อต้องการเปิดสวิตช์ก็ให้กดด้านที่ระบุว่าเป็นการเปิดสวิตช์ลง ส่วนอีกด้านที่เหลือก็จะกระดกขึ้น

รูปที่ 2.21 ปุ่มกดแบบกระดก [22]

6) หลอดไฟ LED

หลอด LED เป็นอุปกรณ์ที่มีสารกึ่งตัวนำไฟฟ้าที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน แล้วปล่อยแสงสว่างออกมาได้ทันที ในปัจจุบันหลอดไฟ LED มีหลายขนาดและหลากสีสัน เช่น สีแดง สีน้ำเงิน สีเขียว เป็นต้น สีสันต่างๆ จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ และต่อมามีสีขาว เกิดจากการปรับแก้ด้วยการนำหลอด LED สีน้ำเงินไปเคลือบเรืองแสงสีเหลือง จึงทำให้แสงจากหลอด LED ส่องออกมาเป็นสีขาว และสามารถใช้เป็นหลอดไฟส่องสว่างได้หลากหลายรูปแบบและมักใช้งานในบ้านเรือน

รูปที่ 2.22 หลอดไฟ LED [23]

7) แผ่น Printed Circuit Board (PCB)

แผ่น Printed Circuit Board เป็นแผงที่มีลายทองแดงนำไฟฟ้าอยู่ใช้สำหรับต่อวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อประกอบเป็นวงจรแทนการต่อวงจรด้วยสายไฟ ซึ่งมีความซับซ้อนและยุ่งยาก โดยแผงวงจรนี้อาจมีเพียงด้านเดียวหรือสองด้านหรือสามารถวางซ้อนกันได้หลายๆ ชั้นได้เช่นกัน ตามความต้องการของผู้ออกแบบ

แผ่นวงจรพิมพ์จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) แผ่นวงจรพิมพ์อเนกประสงค์ (Universal PCB Board) จะเป็นรูๆ เพิ่มใส่ขาอุปกรณ์แล้วก็โยงสายทองแดงหากันตามที่ออกแบบ
2) แผ่นวงจรพิมพ์เปล่า จะต้องลงลายและกัดเอง

รูปที่ 2.23 แผ่น Printed Circuit Board [24]

2.4 สมการที่ใช้ในโครงงาน

2.4.1 การคำนวณหาความต้านทานของดิน

การคำนวณหาความต้านทานที่พื้นดินกระทำต่อกรวย สามารถหาได้จากแรงกดต่อพื้นที่หน้าตัดโคนกรวยที่ต้องใช้ในการส่งหัววัดขนาดมาตรฐานลงไปในดิน ดังสมการที่ 2.1

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{2.1}$$

เมื่อ σ คือ ความต้านทานของดิน (N/m^2 หรือ Pa)

F คือ แรงกด (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดโคนกรวย (m^2)

บทที่ 3
การดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงานการพัฒนาเครื่องวัดความต้านทานของดินมีวิธีการดำเนินงานดังนี้

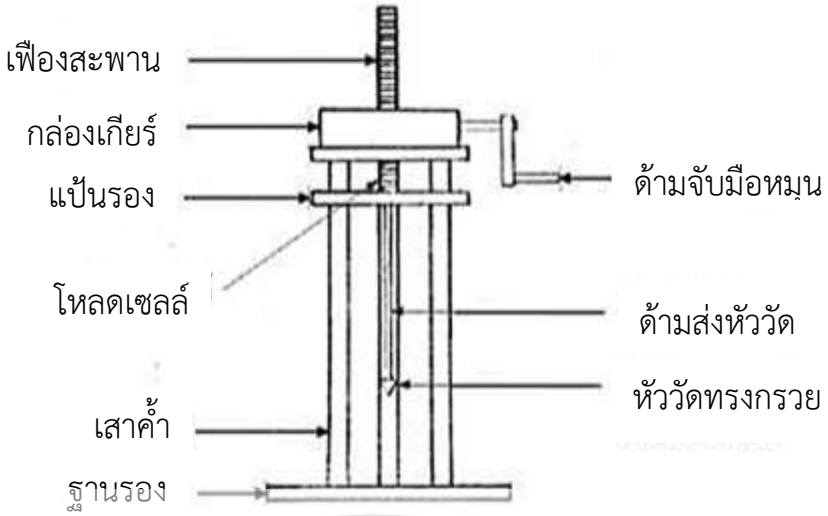
1) แนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์วัดความต้านทานดิน
2) ศึกษาหลักการทำงานของโหลดเซลล์เพื่อใช้ในการหาค่าความต้านทานของดิน
3) ศึกษาหลักการทำงานของ Encoder เพื่อใช้ในการหาค่าความลึก
4) ศึกษาหลักการทำงานของตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อหาค่าความลึก
5) การนำอุปกรณ์ต่างๆ มารวมกันเพื่อสร้างชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน

3.1 แนวคิดในการพัฒนาอุปกรณ์วัดความต้านทานดิน

3.1.1 Cone penetrometer model G1

จากการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของอุปกรณ์แต่ละแบบ จึงได้มีการออกแบบอุปกรณ์ให้การเก็บข้อมูลมีความเสถียรภาพและมีความแม่นยำ และเครื่องมือชนิดนี้สามารถวัดค่าความต้านทานของดินที่ความลึกต่างๆ ได้ จึงมีแนวคิดของการพัฒนาอุปกรณ์วัดความต้านทานดินดังนี้

1) การแสดงค่าความต้านทานดินจะแสดงค่าทุก 5 เซนติเมตร โดยใช้ Encoder ในการวัดความลึก
2) สามารถบันทึกค่าได้ โดยใช้บอร์ด Arduino Uno ในการประมวลผลเก็บข้อมูลและแสดงผลผ่านจอ LCD
3) ใช้โหลดเซลล์ในการวัดแรงต้านทานของดิน และส่งข้อมูลไปยังบอร์ด Arduino Uno
4) มีกลไกในการทดแรงในการกดอุปกรณ์ลงดิน และใช้มาตรฐานอุปกรณ์วัดความต้านทานชนิด ก (ฐานโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 เซนติเมตรและเพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.59 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2.2 (ก))



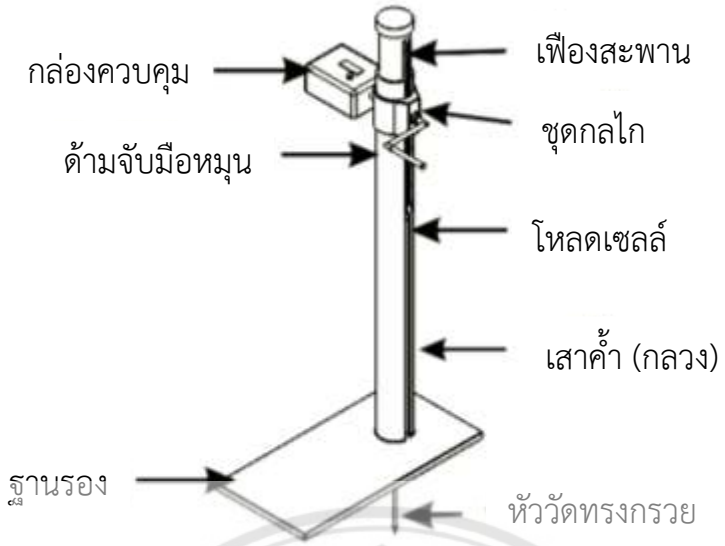
รูปที่ 3.1 การออกแบบ Cone penetrometer model G1

จากการพิจารณาเกี่ยวกับโครงสร้างพบว่า โครงสร้างของ Cone penetrometer model G1 มีลักษณะที่ไม่เหมาะสม คือ มีจำนวนเสาที่มากเกินไป ทำให้ต้องใช้พื้นที่มาก และไม่สะดวกต่อการใช้งาน อีกทั้งยังพบปัญหาในการเคลื่อนที่ขึ้น – ลงของแป้นรองคือ จำนวนของเสามีความสัมพันธ์กับแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น และในส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พบปัญหาในเรื่องของ Encoder ซึ่งมีความซับซ้อน และราคาแพงมากเกินไป

3.1.2 Cone penetrometer model G2

จากปัญหาที่พบใน Cone penetrometer model G1 จึงทำให้มีการออกแบบโครงสร้างและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการเก็บข้อมูลเพื่อแก้ไขปัญหาเดิม และรองรับปัญหาใหม่ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ โดยได้แนวคิดของการพัฒนาอุปกรณ์วัดความต้านทานดินดังนี้

1) การแสดงค่าความต้านทานดินจะแสดงค่าทุกวินาที
2) ใช้บอร์ด Arduino Mega 2560 ในการประมวลผลเก็บข้อมูลและแสดงผลผ่านจอ LCD
3) ใช้โหลดเซลล์ในการวัดแรงต้านทานของดินและส่งข้อมูลไปยังบอร์ด Arduino Mega 2560
4) มีกลไกในการทดแรงในการกดอุปกรณ์ลงดิน และใช้มาตรฐานอุปกรณ์วัดความต้านทานชนิด ก (ฐานโคนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 เซนติเมตรและเพลาเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.59 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2.2 (ก))
5) มีระบบเสียง และระบบไฟ เพื่อแจ้งเตือน
6) มีปุ่มรีเซต และปุ่มบันทึกค่า
7) มีการบันทึกผลผ่าน Micro SD Card Module รุ่น ET-MINI SPI Micro SD



รูปที่ 3.2 การออกแบบ Cone penetrometer model G2

โครงสร้าง Cone penetrometer model G2 มีการพัฒนาไปจากเดิมคือ เปลี่ยนเสาค้ำจาก 3 เสา เป็นเสาเดียวที่มีลักษณะกลวงและมั่นคงมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งมีตลับลูกปืน เพื่อช่วยลดแรงเสียดทาน ในส่วนของฐานมีบุช เพื่อไม่ให้เกิดการเบี่ยงเบนของปลายกรวย Cone penetrometer และส่วนของกลไกการเคลื่อนที่ขึ้นลงใช้กลไกของเฟืองและเฟืองสะพาน แบบรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

3.2 การศึกษาหลักการทำงานของโหลดเซลล์เพื่อใช้ในการหาค่าความต้านทานของดิน

ในโครงงานนี้ เป็นการพัฒนาเครื่องวัดความต้านทานของดิน โดยทางผู้จัดทำโครงงานได้ใช้โหลดเซลล์เพื่อใช้ในการหาค่าความต้านทานของดิน โดยใช้หลักการเสียรูปของโหลดเซลล์ เพื่อหาแรงที่กระทำ และนำค่าแรงที่กระทำมาคำนวณในสมการที่ 2.1 และใช้บอร์ด Arduino ประมวลผลข้อมูลที่ได้จากโหลดเซลล์ ประมวลผลออกมาเป็นค่าความต้านทานของดิน โดยมีขั้นตอนการศึกษาทดลองดังต่อไปนี้

3.2.1 ทำแท่นและติดตั้งโหลดเซลล์

3.2.1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อให้การทดลองได้ค่าที่เชื่อถือได้ โดยใช้หลักการเสียรูปของโหลดเซลล์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นการทำแท่นเพื่อติดตั้งโหลดเซลล์นั้นจึงควรมีความแข็งแรงและไม่เกิดการเสียรูปของแท่น

3.2.1.2 อุปกรณ์

1) สว่าน

2) น็อต M3 จำนวน 2 ตัว

3) โหลดเซลล์

4) ไขควง

5) ที่แขวนตุ้มน้ำหนัก

3.2.1.3 ขั้นตอนการติดตั้ง

1) เลือกแท่นที่มั่นคงและแข็งแรง

2) เลือกตำแหน่งเพื่อติดตั้งโดยให้โหลดเซลล์ สามารถแขวนตุ้มน้ำหนักได้

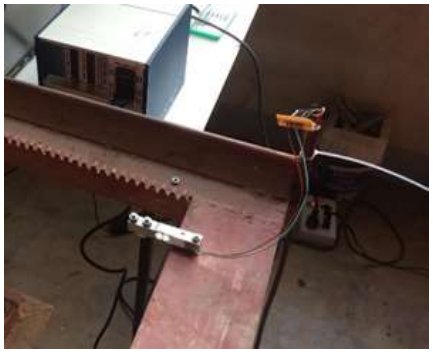
3) เจาะรูแท่น

4) ติดตั้งโหลดเซลล์ โดยการยึดน็อต M3 จำนวน 2 ตัว

5) ใส่ที่แขวนตุ้มน้ำหนัก

(ก) เลือกแท่นที่แข็งแรง

(ข) เจาะเพื่อที่จะทำการติดตั้ง



(ค) ติดตั้งโหลดเซลล์

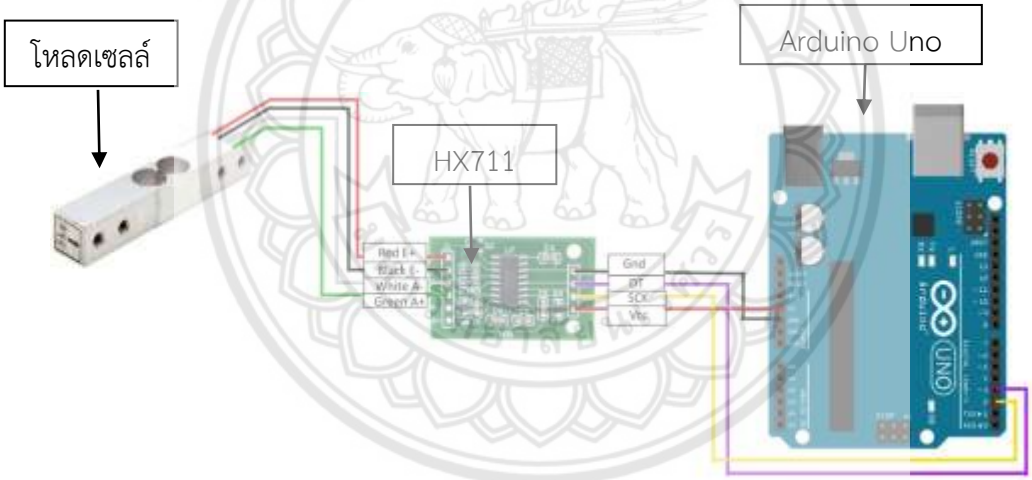
(ง) ติดตั้งโหลเซลล์

รูปที่ 3.3 ทำแท่นและติดตั้งโหลดเซลล์

3.2.2 เชื่อมต่อโหลดเซลล์เข้าบอร์ด Arduino Uno

ในการเชื่อมต่อโหลดเซลล์เข้ากับบอร์ด Arduino Uno ต้องใช้ตัวกลางในการแปลงสัญญาณจากโหลดเซลล์เข้ากับบอร์ด Arduino Uno โดยผู้จัดทำได้ใช้ Weight sensor amplifier module เป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณ โดยจะเชื่อมต่อสายดังรูปที่ 3.4 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เชื่อมต่อสาย 5V เข้ากับพอร์ต E+
2) เชื่อต่อสาย GND เข้ากับพอร์ต E-
3) เชื่อมต่อสายสัญญาณ (สีขาว) เข้ากับพอร์ต A-
4) เชื่อมต่อสายสัญญาณ (สีเขียว) เข้ากับพอร์ต A+
5) เชื่อมต่อสาย GND เข้ากับพอร์ต GND ของบอร์ด Arduino Uno
6) เชื่อมต่อสาย DT เข้ากับพอร์ต Digital 3 ของบอร์ด Arduino Uno
7) เชื่อมต่อสายสัญญาณ SCK เข้ากับพอร์ต Digital 2 ของบอร์ด Arduino Uno
8) เชื่อมต่อสาย 5V เข้ากับพอร์ต 5V ของบอร์ด Arduino Uno



รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อโหลดเซลล์เข้ากับบอร์ด Arduino Uno

3.1.3 เขียนโปรแกรมเข้าบอร์ด Arduino Uno

การเขียนโปรแกรมดังรูปที่ ข.1 (ภาคผนวก ข) จะเป็นการนำค่าที่ได้จาก Weight sensor amplifier module โดยใช้ฟังก์ชัน cell.read() อ่านค่าออกมาแสดงผล ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าของโหลดเซลล์ ดังรูปที่ 4.2 เพื่อทำให้ค่าที่ได้ออกมาเป็นหน่วยน้ำหนัก ทางผู้จัดทำจึงสอบเทียบค่าสัญญาณทางไฟฟ้ากับน้ำหนักที่ทราบค่าแน่นอน ในที่นี้ทางผู้จัดทำได้ใช้ตุ้มน้ำหนักซึ่งได้ชั่งจากเครื่องชั่งที่ได้มาตรฐานดังรูปที่ 3.5 และเขียนโปรแกรมขึ้นมาใหม่ ดังรูปที่ ข.2 (ภาคผนวก ข) โดยการทดลองจะเป็นดังต่อไปนี้

3.2.3.1 วัตถุประสงค์

เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการเชื่อมต่อโหลดเซลล์เข้ากับบอร์ด Arduino Uno และกับเครื่อง SCXI กับค่าน้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักเพื่อทดสอบการทำงานของโหลดเซลล์

3.2.3.2 อุปกรณ์

1) เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีค่าเชื่อถือได้
2) ตุ้มน้ำหนัก
3) ถุงผ้าใส่ตุ้มน้ำหนัก
4) ที่แขวนตุ้มน้ำหนัก
5) โหลดเซลล์ และ Weight sensor amplifier module
6) เครื่อง SCXI
7) บอร์ด Arduino Uno
8) สาย Jumper

3.2.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1) เชื่อมต่อโหลดเซลล์เข้ากับบอร์ด Arduino Uno
2) ชั่งน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักที่นำมาทดลอง
3) นำตุ้มน้ำหนักแขวนกับโหลดเซลล์ดังรูปที่ 3.6
4) แขวนตุ้มน้ำหนักครั้งละ 1 ลูก
5) บันทึกค่าแขวนตุ้มน้ำหนักเพิ่มครั้งละ 1 ลูก บันทึกค่า ทำซ้ำจนครบ 5 ลูก
6) นำตุ้มน้ำหนักออกครั้งละ 1 ลูก
7) บันทึกค่าน้ำหนักออกครั้งละ 1 ลูก บันทึกค่า ทำซ้ำจนกระทั่งตุ้มน้ำหนักหมด
8) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
9) นำค่าที่ได้มาแสดงในรูปแบบของกราฟเส้นตรง
10) สร้างสมการเส้นตรง $y = mx + c$
11) นำสมการเส้นตรงที่ได้มาเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณหาค่าน้ำหนักจริง

ในส่วนของการทดลองด้วยเครื่อง SCXI เพื่อทดสอบโหลดเซลล์นั้น ขั้นตอนการทดลองจะเหมือนกับการทดสอบกับบอร์ด Arduino Uno ทุกขั้นตอน เพียงแต่เปลี่ยนอุปกรณ์จาก Arduino Uno เป็นเครื่อง SCXI

รูปที่ 3.5 การชั่งน้ำหนักตุ้มน้ำหนัก

(ก) ภาพด้านหน้า (ข) ภาพด้านบน

รูปที่ 3.6 แขวนตุ้มน้ำหนัก

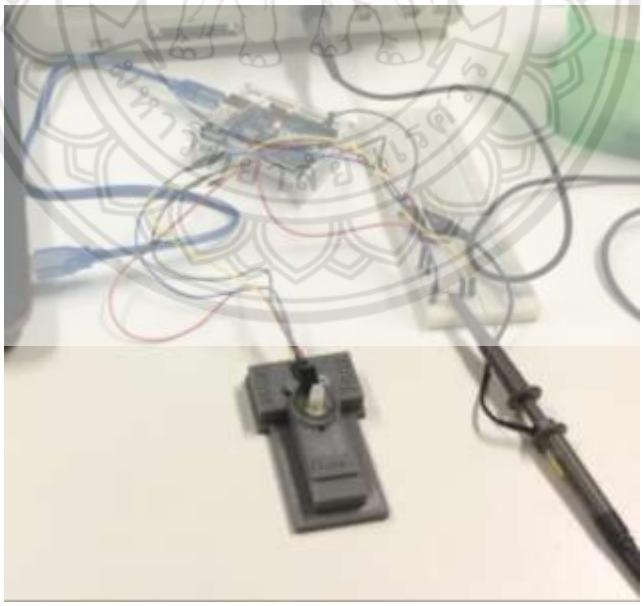
(ก) นำโหลดเซลล์เชื่อมต่อกับเครื่อง SCXI

(ข) เครื่อง SCXI

รูปที่ 3.7 เชื่อมต่อโหลดเซลล์เข้ากับเครื่อง SCXI

3.3 การศึกษาหลักการทำงานของ Encoder เพื่อใช้ในการหาค่าความลึก

ในโครงงานนี้ผู้จัดทำโครงงานได้นำ Encoder มาพิจารณาเพื่อใช้ในการหาค่าความลึกของกรวยที่สามารถกดลงดิน โดยใช้บอร์ด Arduino Uno เพื่อประมวลผลและนำมาคำนวณในการใช้อุปกรณ์



(ก) เชื่อมต่อ Encoder เข้ากับบอร์ด Arduino Uno

(ข) ทดสอบการเชื่อมต่อ Encoder

รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อ Encoder เข้ากับบอร์ด Arduino Uno

3.3.1 เขียนโปรแกรมลงบอร์ด Arduino Uno

โดยการเขียนแปรแกรมนั้นจะเป็นการเช็คว่า Encoder นั้นทำงานได้หรือไม่ โดยถ้าแสงจากLED เข้าตัวรับแสงจะให้โปรแกรมแสดงผลคำว่า “OFF” และถ้าแสงจาก LED ไม่เข้าตัวรับแสงจะให้โปรแกรมแสดงผลคำว่า “ON” ดังรูปที่ ค.2 (ภาคผนวก ค)

3.3.2 ทดสอบ Encoder โดยเชื่อมต่อกับเครื่องออสซิลโลสโคป

โดยการทดสอบนี้จะนำเครื่องออสซิลโลสโคปมาเชื่อมต่อ โดยต่อสาย GND จากเครื่องออสซิลโลสโคปเข้ากับ GND ของบอร์ด Arduino Uno และต่อสาย Digital 2 ของบอร์ด Arduino Uno เข้ากับเครื่องออสซิลโลสโคป โดยเชื่อมต่อดังรูปที่ ค.3 (ภาคผนวก ค)

3.4 การศึกษาหลักการทำงานของตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อหาค่าความลึก

ในโครงงานนี้ผู้จัดทำโครงงานได้ใช้ Encoder ในการหาค่าความลึกของกรวยที่สามารถกดลงดิน ซึ่ง Encoder ที่สามารถนำมาใช้งานในโครงงานได้นั้นมีราคาแพงและขอบเขตโครงงานไม่ต้องการความละเอียดสูงมากนัก ทางผู้จัดทำจึงใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้แทน Encoder โดยมีขั้นตอนการศึกษาทดลองดังต่อไปนี้

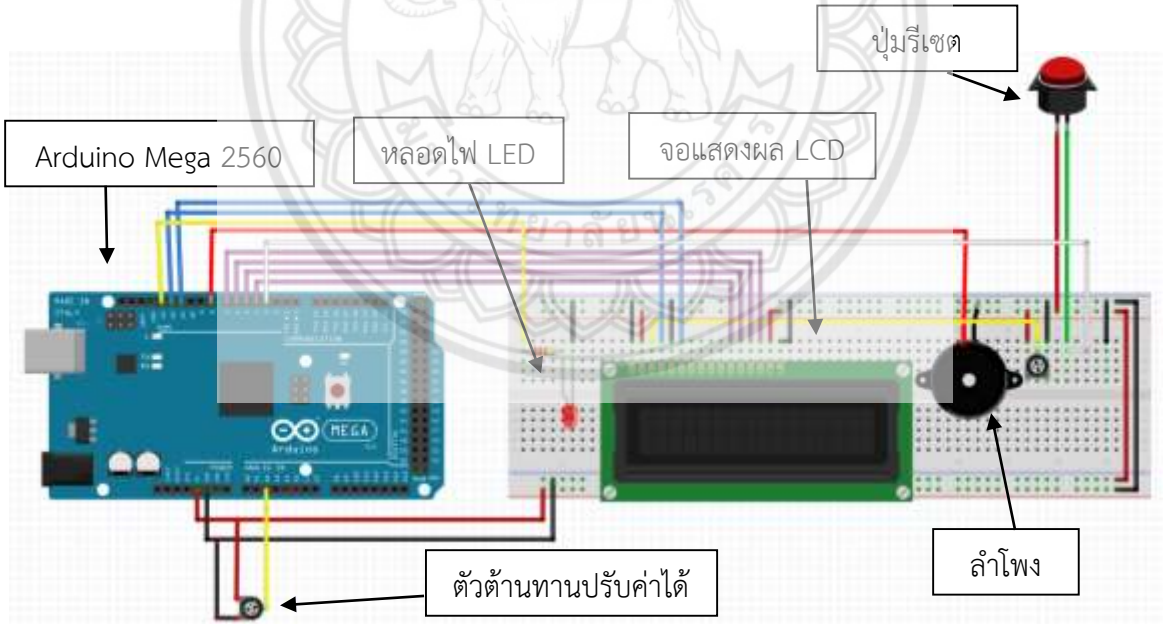
3.4.1 วัตถุประสงค์

เปรียบเทียบค่าที่ได้จากหมุนตัวต้านทานปรับค่าได้ด้วยการดึงเชือกจากชุดวัดความลึก และค่าที่ได้จากบอร์ด Arduino เพื่อทดสอบการทำงานของตัวต้านทานปรับค่าได้

3.4.2 อุปกรณ์

1) ตัวต้านทานปรับค่าได้
2) บอร์ด Arduino Uno
3) สาย Jumper
4) จอแสดงผล LCD
5) หลอดไฟ LED
6) ปุ่มรีเซต
7) ลำโพง

3.4.3 เชื่อมต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เข้ากับบอร์ด Arduino Mega 2560



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เข้ากับบอร์ด Arduino Mega 2560

3.4.4 เขียนโปรแกรมลงบอร์ด Arduino Mega 2560

การเขียนโปรแกรมจะเป็นการนำสัญญาณ Analog ที่ได้จากาการทดลองสอบเทียบค่าสัญญาณ Analog กับค่าความลึกที่ทราบค่าแน่นอน โดยจากการทดลองจะได้สมการเส้นตรง y = 1.9431x + 0.8627 โดยการเขียนโปรแกรมจะเป็นการนำค่า Analog ที่ได้มาแทนในสมการเพื่อหาค่าความลึกจริงซึ่งจะเป็นการย้อนกลับเพื่อหาค่าความลึกจริงของชุดวัดความลึก โดยการเขียนโปรแกรมจะเป็นดังรูปที่ ง.1 (ภาคผนวก ง)

รูปที่ 3.10 ตัวต้านทานปรับค่าได้ยี่ห้อ RS Components Co., Ltd

3.4.5 ขั้นตอนการทดลอง

1) เชื่อมต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เข้ากับบอร์ด Arduino Mega 2560 ดังรูปที่ 3.9
2) ดึงเชือกให้ตึง
3) ดึงเชือกลงมาทีละ 5 เซนติเมตร จนกระทั่งความลึกมีค่าเท่ากับ 80 เซนติเมตร (รูปที่ 3.10)
4) บันทึกค่าอนาล็อกที่ได้
5) หมุนชุดวัดความลึกกลับทีละ 5 เซนติเมตร จนค่าความลึกเท่ากับ 0
6) ทำขั้นตอนที่ 3) ถึง 5) ซ้ำ 3 ครั้ง
7) นำค่าที่ได้แสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟ
8) เขียนโปรแกรมเพื่อหาค่าความลึก ได้จากสมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟ

(ก) ดึงเชือกให้ตึง

(ข) เริ่มวัดค่าความลึกทีละ 5 เซนติเมตร

(ค) วัดความลึกจนถึงค่าความลึกที่ 80 เซนติเมตร

รูปที่ 3.11 การวัดความลึกโดยการเทียบกับความสูงที่ทราบค่าแน่นอน

3.5 การนำอุปกรณ์ต่างๆ มารวมกันเพื่อสร้างชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน

ในส่วนของการรวมอุปกรณ์นั้นทางผู้จัดทำได้นำโหลดเซลล์และตัวต้านทานปรับค่าได้ มารวมกันโดยสร้างแท่นขึ้นมาและนำอุปกรณ์ทั้งหมดมาติดตั้งลงแท่น โดยจะใช้บอร์ด Arduino Mega 2560 ประมวลผลข้อมูล ซึ่งสาเหตุที่ผู้จัดทำเลือกใช้บอร์ด Arduino Mega 2560 แทนบอร์ด Arduino Uno เพราะว่าบอร์ด Arduino Mega 2560 มีจำนวนพอร์ต Digital และ Analog เยอะกว่าบอร์ด Arduino Uno ซึ่งในการรวมอุปกรณ์นั้นทางผู้จัดทำได้เพิ่มจอ LCD ปุ่มกด ลำโพง ไฟสัญญาณเตือน Micro SD Card Adapter จึงทำให้ต้องใช้พอร์ต Digital และ Analog ซึ่งบอร์ด Arduino Uno มีพอร์ตไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ในการสร้างชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินทางผู้จัดทำได้ติดตั้งปุ่มกดเพื่อรีเซตค่าความลึกให้เป็นค่าเริ่มต้นได้ ติดตั้งลำโพงเพื่อเป็นเสียงสัญญาณเตือนในการใช้งานชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินเมื่อหมุนอุปกรณ์เกินจำนวนรอบ และติดตั้งหลอดไฟ LED เพื่อเป็นไฟสัญญาณเตือนเมื่ออุปกรณ์กดลงดินที่ความลึกทุกๆ 5 เซนติเมตร

3.5.1 ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับบอร์ด Arduino Mega 2560

โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.1.1 ตัวต้านทานปรับค่าได้

ข้อที่	พอร์ตของบอร์ด Arduino Mega 2560	ตัวต้านทานปรับค่าได้
1	5V	ขาขั้วบวก
2	GND	ขาขั้วลบ
3	Analog 2	ขาสัญญาณ

3.5.1.2 Micro SD Card Adapter

ข้อที่	พอร์ตของบอร์ด Arduino Mega 2560	Micro SD Card Adapter
1	5V	พอร์ต VCC
2	GND	พอร์ต GND
3	Digital 50	พอร์ต MISO
4	Digital 51	พอร์ต MOSI
5	Digital 52	พอร์ต SCK
6	Digital 53	พอร์ต CS

3.5.1.3 หลอดไฟ LED

ข้อที่	พอร์ตของบอร์ด Arduino Mega 2560	หลอดไฟ LED	อุปกรณ์อื่นๆ
1	GND	ขาขั้วลบ	-
2	Digital 13	ขาขั้วบวก	ตัวต้านทาน

3.5.1.4 จอ LCD

ข้อที่	พอร์ตของบอร์ด Arduino Mega 2560	จอ LCD	อุปกรณ์อื่นๆ
1	GND	ขาที่ 1	-
2	5V	ขาที่ 2	-
3	-	ขาที่ 3	ตัวต้านทานปรับค่าได้ (ทำหน้าที่ปรับความเข้มของจอภาพ)

4	Digital 12	ขาที่ 4	-
5	GND	ขาที่ 5	-
6	Digital 11	ขาที่ 6	-
7	Digital 7	ขาที่ 11	-
8	Digital 6	ขาที่ 12	-
9	Digital 5	ขาที่ 13	-
10	Digital 4	ขาที่ 14	-
11	5V	ขาที่ 15	-
12	GND	ขาที่ 16	-

3.5.1.5 ลำโพง

ข้อที่	พอร์ตของบอร์ด Arduino Mega 2560	ลำโพง
1	GND	ขาขั้วลบ
2	Digital 8	ขาขั้วบวก

3.5.1.6 ปุ่มรีเซต (กดติดปล่อยดับ)

ข้อที่	พอร์ตของบอร์ด Arduino Mega 2560	ปุ่มรีเซต	อุปกรณ์
1	5V	ขาขั้วบวก	-
2	Digital 3	ขาขั้วลบ	ตัวต้านทาน

3.5.1.7 ปุ่มบันทึก (กดติดกดดับ)

ข้อที่	พอร์ตของบอร์ด Arduino Mega 2560	ปุ่มบันทึก	อุปกรณ์
1	5V	ขาขั้วบวก	-
2	Digital 2	ขาขั้วลบ	ตัวต้านทาน

3.5.1.8 โหลดเซลล์

ข้อที่	พอร์ตของบอร์ด Arduino Mega 2560	โหลดเซลล์	Weight sensor amplifier module
1	5V	-	พอร์ต VCC
2	GND	-	พอร์ต GND
3	Digital 10	-	พอร์ต DT
4	Digital 9	-	พอร์ต SCK
5	-	5V	E+
6	-	GND	E-
7	-	สายสัญญาณ (สีขาว)	A-
8	-	สายสัญญาณ (สีเขียว)	A+

3.5.1.9 Real Time Clock

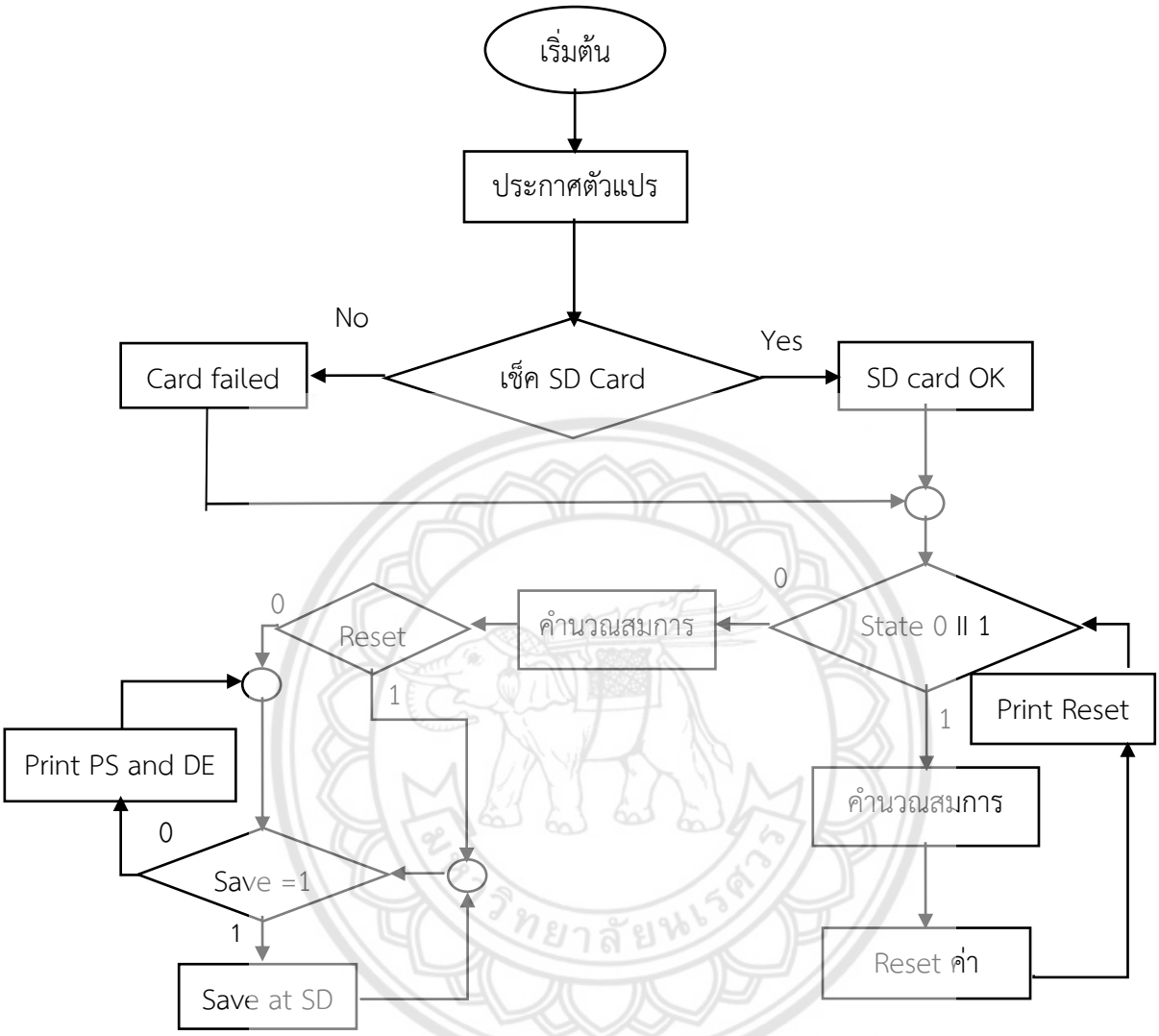
ข้อที่	พอร์ตของบอร์ด Arduino Mega 2560	Real Time Clock
1	Analog 4	SCL
2	Analog 5	SDA
3	5V	VCC
4	GND	GND

หมายเหตุ: - คือ ไม่มีการเชื่อมต่อพอร์ตนั้นเข้ากับอุปกรณ์อื่นๆ

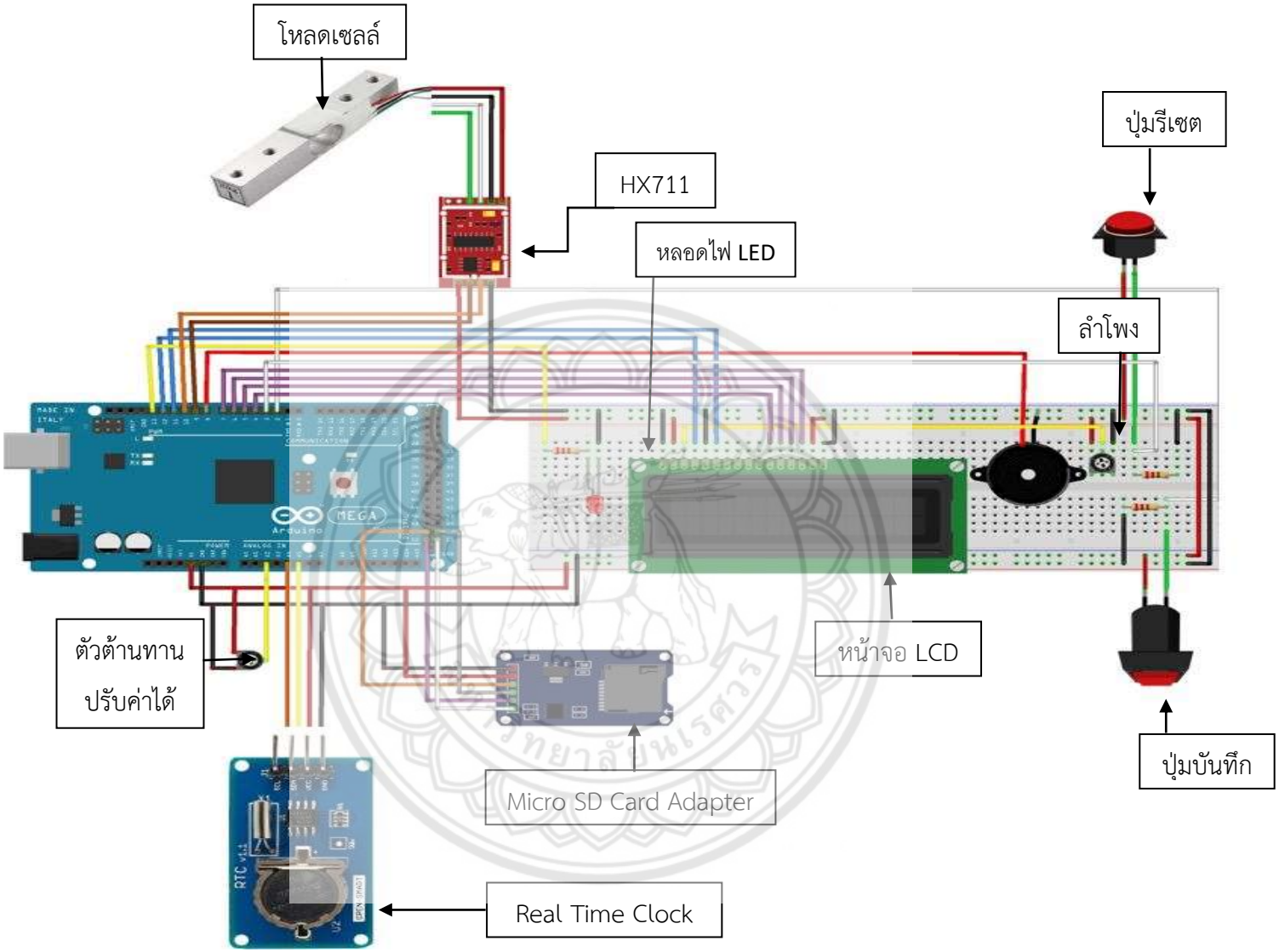
3.5.2 เขียนโปรแกรมลงบอร์ด Arduino Mega 2560

โดยการเขียนโปรแกรมนั้นจะเป็นการนำค่าจากอุปกรณ์ต่างๆ มาแสดงผลผ่านจอ LCD โดยจะนำค่าจากโหลดเซลล์มาคำนวณในสมการที่ 2.1 เพื่อแสดงผลเป็นค่า “Pressure” และนำค่าจากตัวต้านทานปรับค่าได้มาแสดงผลเป็นค่า “Depth” และเมื่อมีการหมุนตัวต้านทานเกิน 8 รอบ (จะได้ระดับความลึก 80 เซนติเมตร) ระบบจะมีเสียงเตือนจากลำโพงและจอ LCD จะแสดงผลคำว่า “STOP!” บนบรรทัดที่ 1 และแสดงผลคำว่า “ERROR (_)?” บนบรรทัดที่ 2 เมื่อกดปุ่มรีเซตค่าที่แสดงผลผ่านจอ LCD จะมีค่า Weight เท่ากับ 0.00 Kg และ Depth เท่ากับ 0.00 cm เมื่อกดปุ่มบันทึกโปรแกรมจะบันทึกค่าที่ได้มาบันทึกลง SD Card โดยไฟล์ที่บันทึกจะอยู่ในตระกูลไฟล์ Excel โดยการบันทึกไฟล์จะตั้งชื่อไฟล์เป็น “ปีเดือนวัน” ดังรูปที่ จ.1 (ภาคผนวก จ)

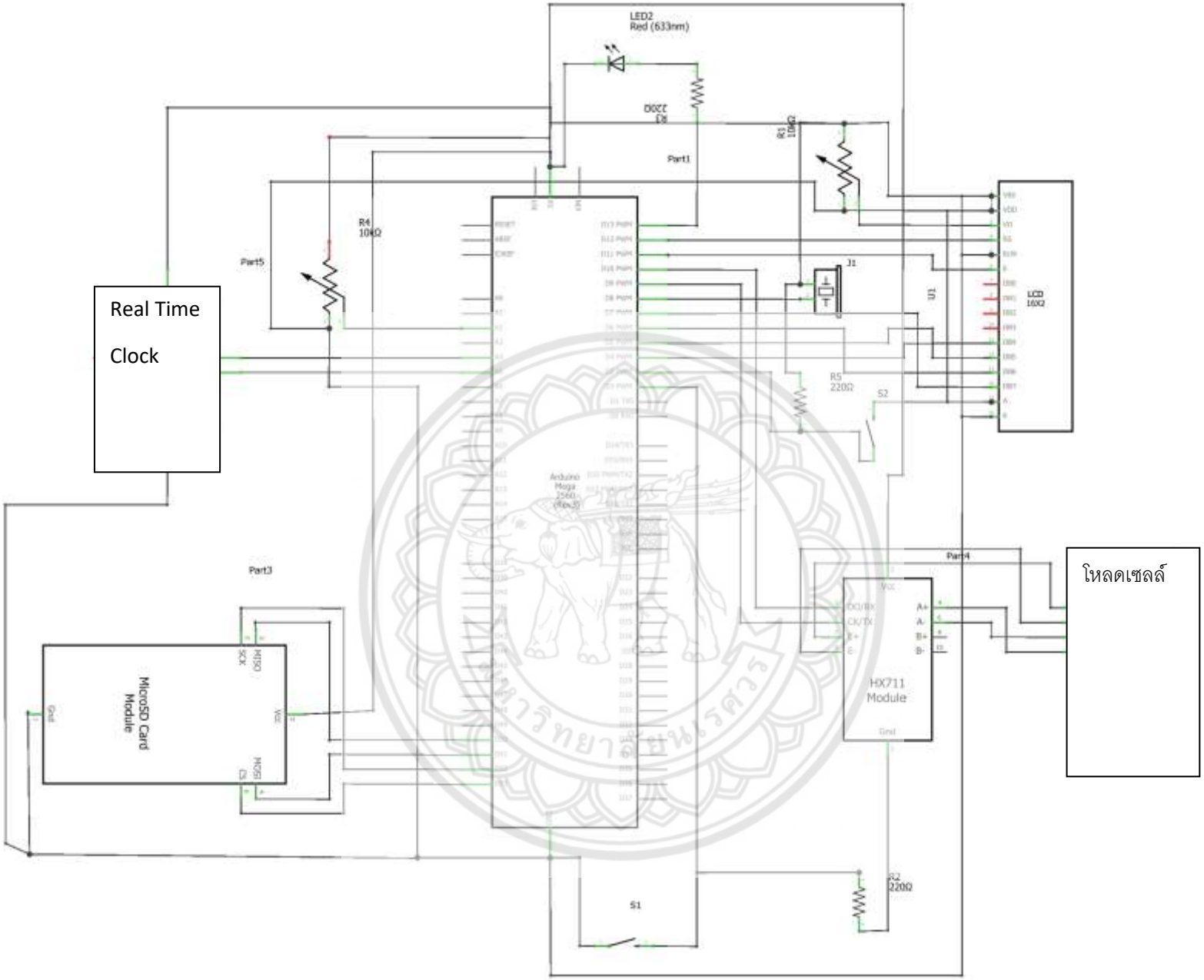
ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมวัดความต้านทานของดิน



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมวัดความต้านทานของดิน



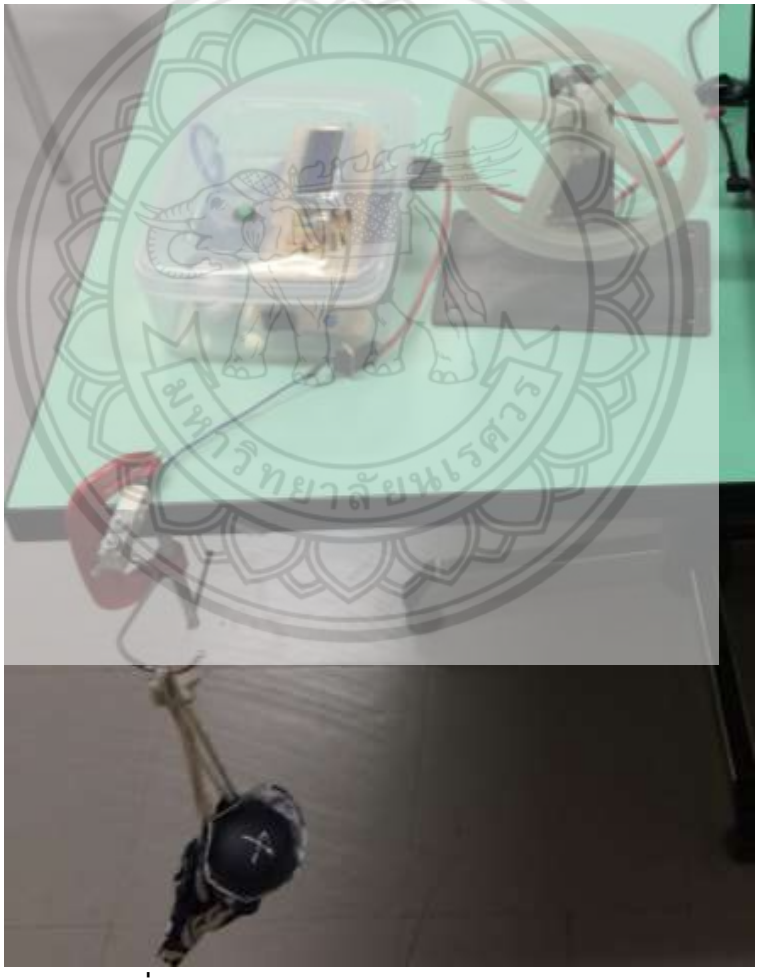
รูปที่ 3.13 เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าบอร์ด Arduino Mega 2560



รูปที่ 3.14 แผนภาพเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้าบอร์ด Arduino Mega 2560

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะแสดงรายละเอียดของผลการศึกษาหลักการทำงานของโหลดเซลล์ ผลการศึกษาหลักการทำงานของ Encoder ผลการศึกษาหลักการทำงานของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยทดสอบกับบอร์ด Arduino และนำอุปกรณ์ต่างๆมารวมกันเพื่อสร้างชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน ดังรูปที่ 4.1 ผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้



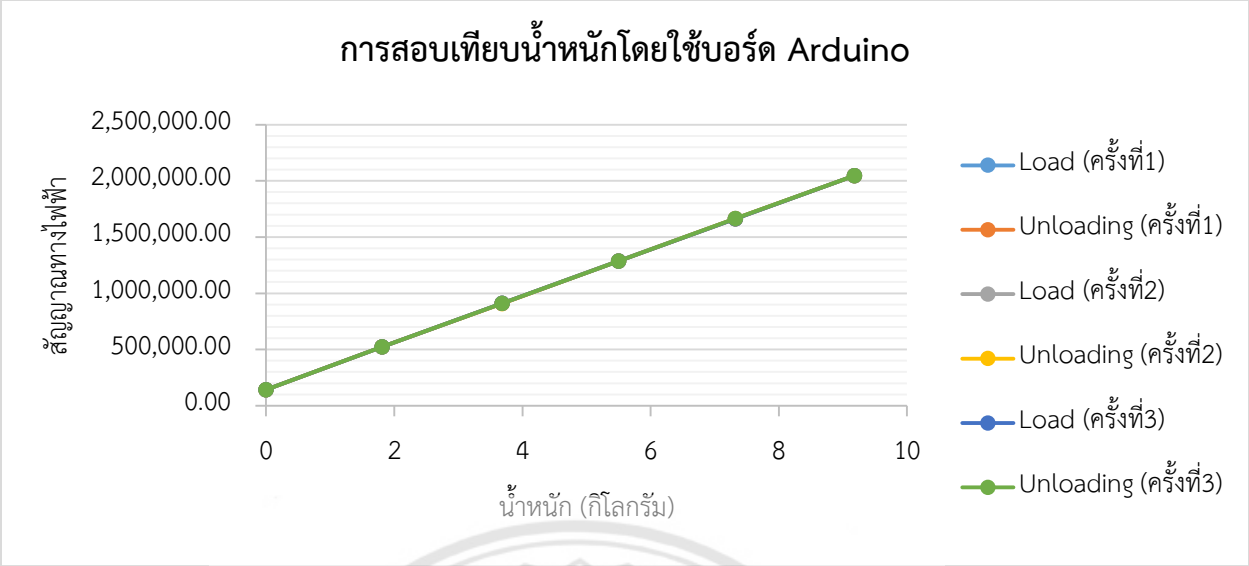
รูปที่ 4.1 ชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน

4.1 ผลการศึกษาหลักการทำงานของโหลดเซลล์

จากการศึกษาโหลดเซลล์เมื่อเชื่อมต่อโหลดเซลล์เข้ากับบอร์ด Arduino Uno และทำการทดสอบการทำงานและเขียนโปรแกรมดังรูปที่ ข.1 (ภาคผนวก ข) ค่าที่ได้จากการเขียนโปรแกรมจะเป็นค่าสัญญาณจากโหลดเซลล์ดังรูปที่ 4.2 และนำค่าเหล่านั้นมาใส่ในตารางที่ ข.1 (ภาคผนวก ข) เพื่อนำค่าเหล่านั้นมาแสดงเป็นกราฟเส้นตรงดังรูปที่ 4.3

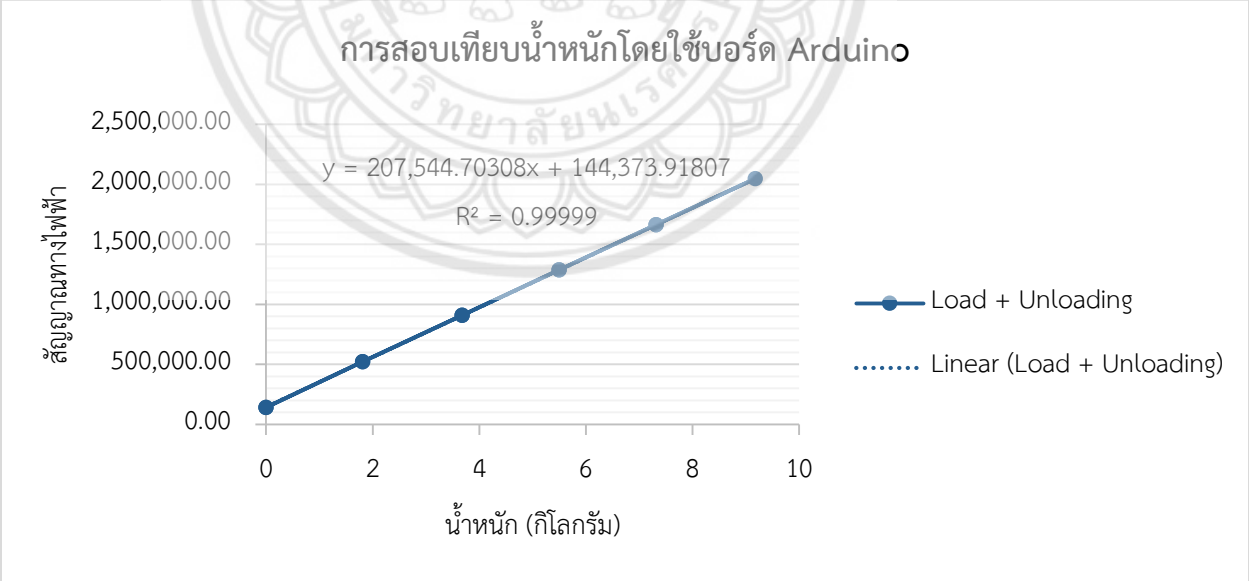
COM3 (Arduino/Genuino Uno)
141781.00
142103.00
142811.00
143206.00
144077.00
143560.00
140938.00
146371.00
166578.00
195763.00
228106.00

รูปที่ 4.2 ค่าที่ได้จากการเขียนโปรแกรม เพื่อหาค่าสัญญาณทางไฟฟ้าจาก**โหลดเซลล์**



รูปที่ 4.3 ผลการทดลองจากบอร์ด Arduino Uno

ผลที่ได้จากการสอบเทียบน้ำหนักโดยใช้บอร์ด Arduino เมื่อแขวนตุ้มน้ำหนักทั้ง Load และ Unloading จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการ Load และ Unloading นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมากและกราฟที่ได้ออกมานั้นทับกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากค่าที่ได้นั้นใกล้เคียงกันมากๆ



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณทางไฟฟ้ากับน้ำหนัก

เมื่อนำกราฟจากรูปที่ 4.4 มาเขียนสมการจะเห็นได้ว่ากราฟนั้นเป็นเส้นตรง เนื่องจากสมการที่ได้จากกราฟอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง y = mx + c และนำสมการมาเขียนโปรแกรมใหม่ ดังรูปที่ ข.2 (ภาคผนวก ข) ค่าที่ได้จากการเขียนโปรแกรมจะออกมาในรูปของน้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักดังรูปที่ 4.5

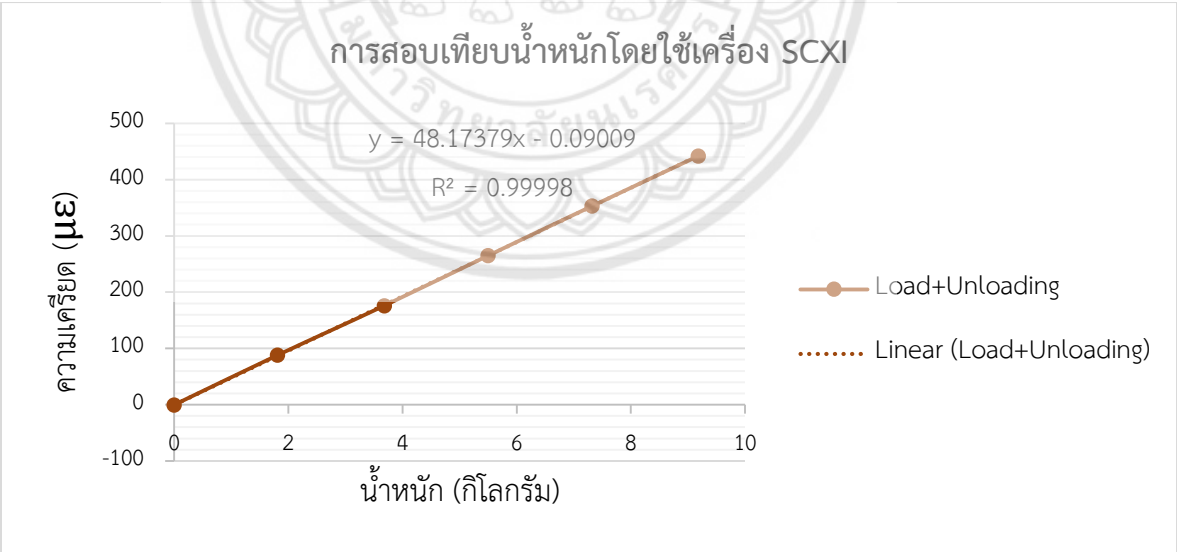
COM3 (Arduino/Genuino Uno)
0.03
0.02
0.02
1.81
1.87
1.88
3.68
3.70
3.66
5.48
5.50
5.44
7.32
7.30
7.31
9.15
9.17
9.11

รูปที่ 4.5 ค่าที่ได้จากการเขียนโปรแกรมชั่งน้ำหนัก หน่วยเป็น กิโลกรัม

และเมื่อทดสอบโหลดเซลล์กับเครื่อง SCXI พบว่าค่าที่ได้จากเครื่อง SCXI เป็นค่าความเครียดซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาแสดงเป็นกราฟเส้นตรงและนำมาสร้างสมการเส้นตรงเพื่อหาค่าน้ำหนักแสดงดังรูปที่ 4.6 และตาราง ข.2 (ภาคผนวก ข)

รูปที่ 4.6 ผลการทดลองจากเครื่อง SCXI

ผลที่ได้จากการสอบเทียบน้ำหนักโดยใช้เครื่อง SCXI เมื่อแขวนตุ้มน้ำหนักทั้ง Load และ Unloading จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการ Load และ Unloading นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมากและกราฟที่ได้ออกมานั้นทับกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากค่าที่ได้นั้นใกล้เคียงกันมากๆ



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับน้ำหนัก

เมื่อนำกราฟจากรูปที่ 4.7 มาเขียนสมการจะเห็นได้ว่ากราฟนั้นเป็นเส้นตรง เนื่องจากสมการที่ได้จากกราฟอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง $y = mx + c$

4.2 ผลการศึกษาหลักการทำงานของ Encoder

จากการศึกษาการทำงานของ Encoder เมื่อเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino Uno เมื่อแสงจาก LED เข้าตัวรับแสง โปรแกรมจะแสดงผลคำว่า “OFF” และเมื่อแสงจาก LED ไม่เข้าตัวรับแสงโปรแกรมจะแสดงผลคำว่า “ON” ซึ่งในสล็อตของ Encoder นั้นมี 100 ช่องและเราสามารถคำนวณหาระยะทางได้จากการหมุนสล็อตของ Encoder โดยเมื่อแสงจาก LED ในเอ็นโค้ดเดอร์กระทบเข้าตัวรับแสงโปรแกรมจะขึ้นว่า “OFF” และเมื่อแสงกระทบสล็อตโปรแกรมจะขึ้นว่า “ON” ซึ่งการที่โปรแกรมแสดงผลว่า “OFF” และต่อด้วย “ON” นั้นแสดงว่าแสงได้ผ่านรูสล็อตไปแล้ว 1 ช่อง ซึ่งถ้าครบ 100 ช่อง นั่นก็คือหมุนครบ 1 รอบ การวัดระยะทาง Encoder นั้นจะหาได้จากสูตรความยาวเส้นรอบรูป โดยผลที่ได้จากการทดสอบจะเป็นดังรูปที่ 4.8

COM3 (Arduino/Genuino Uno)
OFF
OFF
ON
ON
OFF
OFF
OFF
ON
OFF

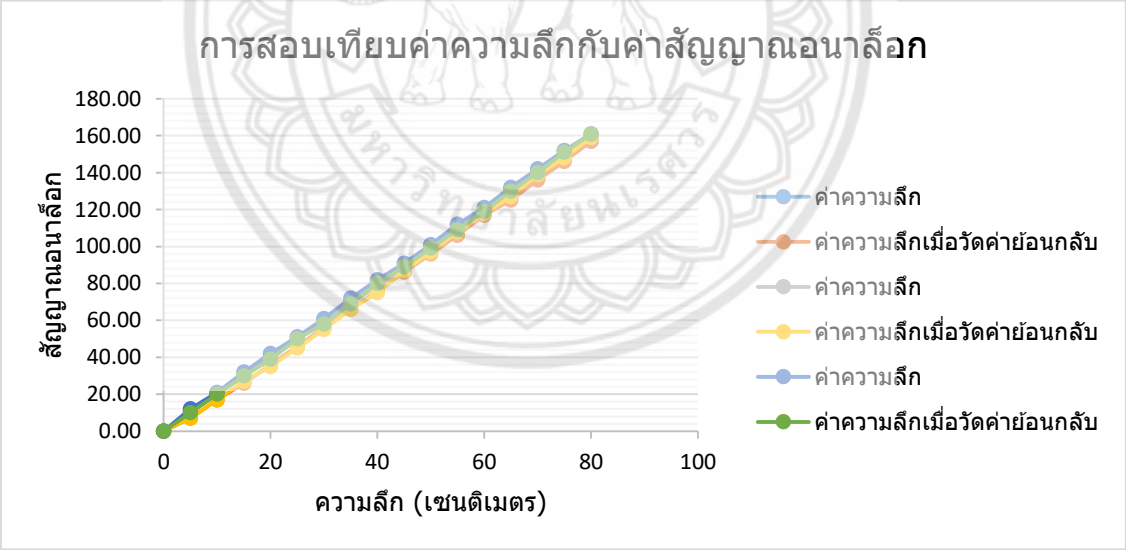
รูปที่ 4.8 ผลที่ได้จากการเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบการทำงานของ Encoder

และทางผู้จัดทำได้ทำการทดสอบ Encoder โดยการเชื่อมต่อ Encoder กับเครื่องออสซิลโลสโคป ผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อหมุนสล็อตจะทำให้เกิดกราฟขึ้นบนหน้าจอของเครื่องออสซิลโลสโคป โดยกราฟที่ปรากฏนั้นเป็นกราฟของสัญญาณดิจิตอลดังรูปที่ 4.9 ซึ่งตรงกับหลักการทำงานของ Encoder

รูปที่ 4.9 สัญญาณดิจิตอลจาก Encoder

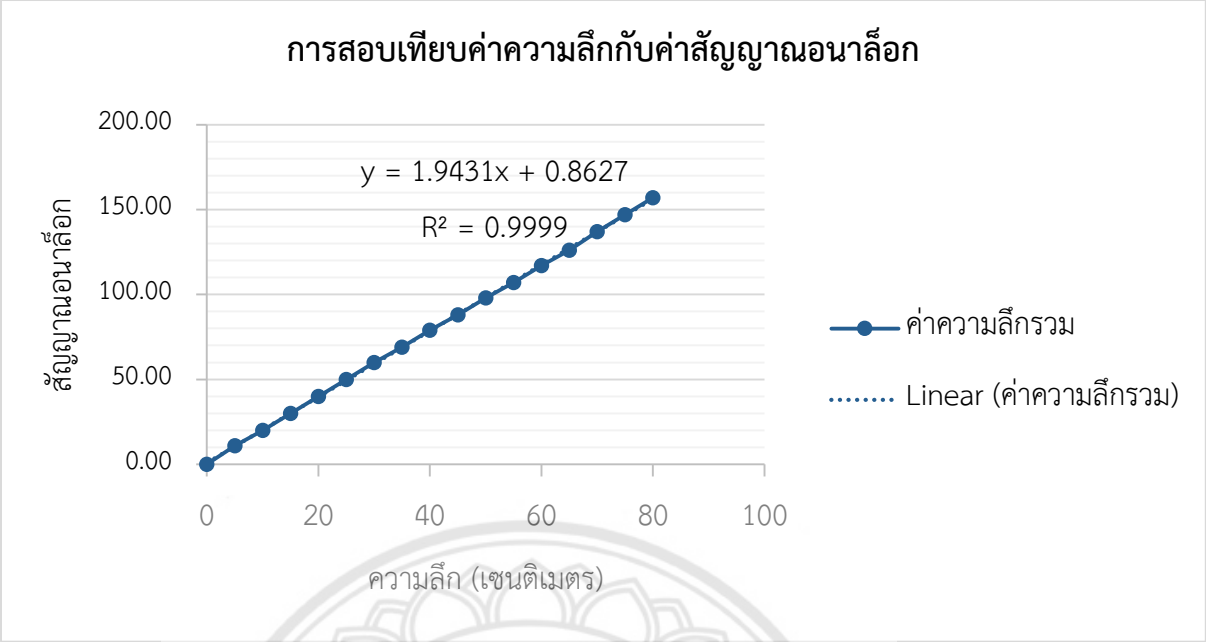
4.3 ผลการศึกษาหลักการทำงานของตัวต้านทานปรับค่าได้

จากการศึกษาหลักการทำงานของตัวต้านทานปรับค่าได้เมื่อเชื่อมต่อตัวต้านทานปรับค่าได้เข้ากับบอร์ด Arduino Mega 2560 และทำการทดสอบการทำงานและเขียนโปรแกรมดังรูปที่ ง.1 (ภาคผนวก ง) ค่าที่ได้จากการเขียนโปรแกรมจะเป็นค่าสัญญาณอนาล็อก และนำค่าเหล่านั้นมาใส่ในตารางที่ ง.1 (ภาคผนวก ง) เพื่อนำค่าเหล่านั้นมาแสดงเป็นกราฟเส้นตรงดังรูปที่ 4.10



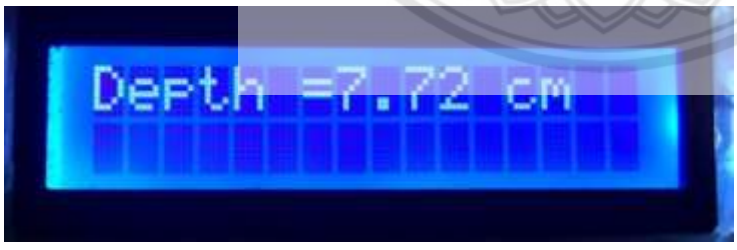
รูปที่ 4.10 การสอบเทียบค่าความลึกจริงกับสัญญาณอนาล็อก

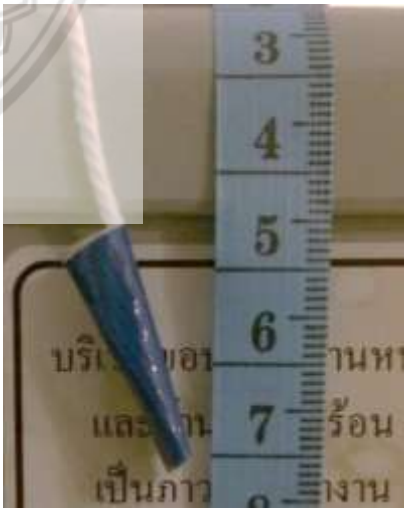
ผลที่ได้จากการสอบเทียบค่าความลึกกับสัญญาณอนาล็อก เมื่อวัดค่าความลึกจากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการวัดค่าความลึก และวัดค่าความลึกย้อนกลับ นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมากและกราฟที่ได้ออกมานั้นทับกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากค่าที่ได้นั้นใกล้เคียงกันมากๆ



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกจริงกับค่าสัญญาณอนาล็อก

เมื่อนำกราฟจากรูปที่ 4.11 มาสร้างสมการจะเห็นได้ว่ากราฟนั้นเป็นเส้นตรง เนื่องจากสมการที่ได้จากกราฟอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง y = mx + c และนำสมการมาเขียนโปรแกรมใหม่ ดังรูปที่ ง.2 (ภาคผนวก ง) ค่าที่ได้จากการเขียนโปรแกรมจะออกมาในรูปของความลึกจริงดังรูปที่ 4.12





(ก) เปรียบเทียบที่ระดับความลึก 7 เซนติเมตร

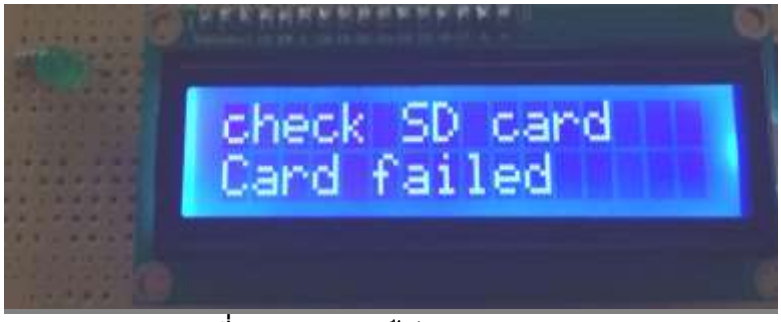
(ข) เปรียบเทียบที่ระดับความลึก 80 เซนติเมตร

รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความลึกจริงกับความลึกจากบอร์ด Arduino Mega 2560 ที่ระดับความลึกต่างๆ

4.4 ผลจากการนำอุปกรณ์ต่างๆ มารวมกันเพื่อสร้างแบบชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน

โดยจากการนำอุปกรณ์ต่างๆมารวมกันและเขียนโปรแกรม เมื่อเริ่มการทำงานอุปกรณ์จะทำการตรวจสอบ SD Card โดยหน้าจอ LCD จะแสดงผลคำว่า “Check SD Card” เพื่อตรวจสอบว่า SD Card อยู่ในอุปกรณ์หรือไม่ เมื่ออุปกรณ์พบ SD Card อุปกรณ์จะแสดงผลว่า “SD Card OK” (รูปที่ 4.13) และไม่พบจะแสดงผลว่า “SD Card Failed” (รูปที่ 4.14)

รูปที่ 4.13 อุปกรณ์พบ Micro SD Card



รูปที่ 4.14 อุปกรณ์ไม่พบ Micro SD Card

เมื่ออุปกรณ์ตรวจสอบ Micro SD Card สำเร็จ ขั้นตอนต่อไปอุปกรณ์จะตั้งชื่อไฟล์เป็น “ปีเดือนวัน” ดังรูปที่ 4.15

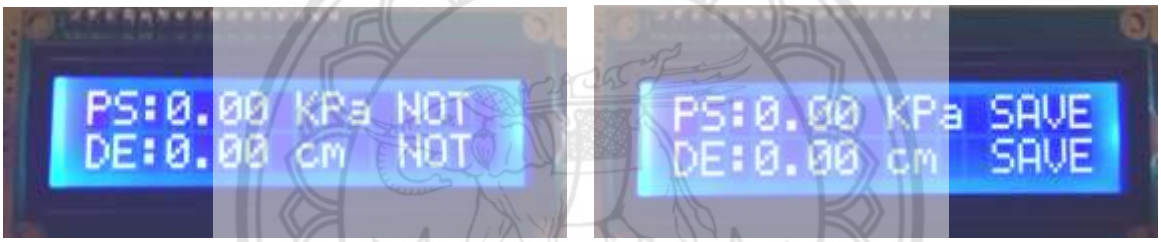
รูปที่ 4.15 แสดงผลชื่อไฟล์

ลำดับต่อไปอุปกรณ์จะแสดงผลค่าความต้านทานของดินโดยจะแสดงผลคำว่า “PS” ซึ่งย่อมาจากคำว่า “Pressure” และแสดงผลความลึกของอุปกรณ์โดยใช้คำว่า “DE” ซึ่งย่อมาจากคำว่า “Depth” และเมื่อกดปุ่มบันทึก อุปกรณ์จะแสดงผลคำว่า “SAVE” หลังค่าความต้านทานของดินและความลึกดังรูปที่ 4.16 ซึ่งเมื่อไม่กดปุ่มบันทึก อุปกรณ์จะแสดงผลคำว่า “NOT” หลังค่าความต้านทานของดินและความลึกดังรูปที่ 4.17 และเมื่อค่าความลึกของอุปกรณ์อยู่ในช่วงทุกๆ 5 เซนติเมตร อุปกรณ์จะเตือนโดยการที่มีไฟ LED ติดอยู่เสมอดังรูปที่ 4.16 และ 4.17

รูปที่ 4.16 อุปกรณ์ทำงานโดยกดปุ่มบันทึก และความลึกของอุปกรณ์อยู่ในช่วง 5 เซนติเมตร

รูปที่ 4.17 อุปกรณ์ทำงานโดยไม่กดปุ่มบันทึก และความลึกของอุปกรณ์อยู่ในช่วง 5 เซนติเมตร

เมื่อกดปุ่มรีเซต อุปกรณ์จะทำการนำค่าปัจจุบันมาลบกับค่าก่อนหน้าจึงทำให้ค่าที่ได้หลังจากการคำนวณโปรแกรมจะแสดงผลค่าความต้านทานของดินและค่าความลึกเท่ากับ 0.00 ดังรูปที่ 4.18



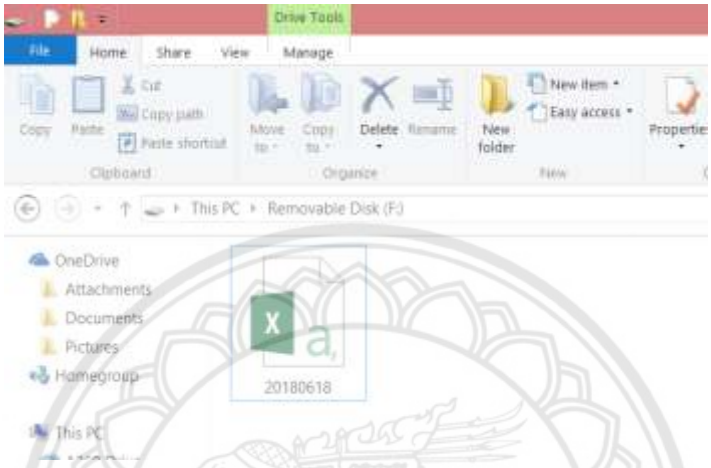
(ก) เมื่อไม่กดปุ่มบันทึก (ข) เมื่อกดปุ่มบันทึก

รูปที่ 4.18 อุปกรณ์ทำงานโดยกดปุ่มรีเซต

เมื่อหมุนตัวต้านทานปรับค่าได้เกิน 8 รอบ จะได้ระดับความลึก 80 เซนติเมตร (รูปที่ 4.19) อุปกรณ์จะมีการเตือนผู้ใช้งานให้ได้รู้ว่าผู้ใช้งานนั้นหมุนตัวต้านทานเกินความสามารถในการหมุนของตัวต้านทานปรับค่าได้

รูปที่ 4.19 แสดงผลเมื่อหมุนตัวตัวต้านทานเกิน 8 รอบ

เมื่อบันทึกไฟล์ลง Micro SD Card และเชื่อมต่อ Micro SD Card เข้ากับคอมพิวเตอร์จะได้ไฟล์ Excel โดยชื่อไฟล์จะเขียนเป็น “ปีเดือนวัน” (รูปที่ 20 (ก)) และในไฟล์จะเขียนค่าที่ได้จากการใช้งานเครื่อง โดยคอลัมน์แรกคือลำดับข้อมูล คอลัมน์ที่ 2 คือความต้านทานของดิน คอลัมน์ที่ 3 คือความลึก คอลัมน์ที่ 4 และ 5 คือเวลาขณะทำงาน (รูปที่ 20 (ข))



(ก) ไฟล์ Excel ที่ได้จากการทำงานของเครื่องวัดความต้านทานของดิน

	line	pressure(KPa)	Depth(cm)	hour	minute
2	1	-0.04	0	14	54
3	2	-0.04	0	14	54
4	3	-0.04	0	14	54
5	4	-0.04	0	14	54
6	5	-0.04	0	14	54
7	6	-0.04	0	14	54
8	7	-0.05	0	14	54
9	8	-0.05	0	14	54
10	9	-0.06	0	14	54
11	10	-0.05	0	14	54
12	11	-0.06	0	14	54
13	12	-0.12	0	14	54
14	13	-0.19	0	14	54
15	14	-0.22	0	14	54
16	15	-0.07	0	14	54
17	16	-0.06	0	14	54
18	17	-0.03	0	14	54
19	18	-0.04	0	14	54
20	19	-0.05	0	14	54
21	20	-0.02	0	14	54
22	21	0	0	14	54
23	22	-0.09	0	14	54
24	23	-0.05	0	14	54
25	24	0.13	0	14	54
26	25	0.07	0	14	54
27	26	0.12	0	14	54
28	27	1.23	0	14	54
29	28	1.28	0	14	54
30	29	1.28	0	14	54
31	30	0.69	0	14	54

20180618

(ข) ค่าที่ได้จากการทำงานของเครื่องวัดความต้านทานของดิน

รูปที่ 4.20 การบันทึกและเขียนข้อมูลลง Micro SD Card

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

5.1.1 จากการศึกษาและทดสอบการทำงานของโหลดเซลล์โดยใช้บอร์ด Arduino Uno และเครื่อง SCXI ในบทที่ 3 และบทที่ 4 ผลที่ได้ออกมานั้นต่างกันคือ บอร์ด Arduino Uno ให้ผลออกมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแต่เครื่อง SCXI ให้ผลออกมาเป็นความเครียด ซึ่งเมื่อนำค่าของทั้ง 2 เครื่องมาเปรียบเทียบกันโดยแสดงผลออกมาเป็นกราฟ ผลปรากฏว่ากราฟที่ได้ออกมาอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง y = mx + c เหมือนกัน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าโหลดเซลล์ทำงานได้ดีบนบอร์ด Arduino Uno และสามารถนำมาใช้ในโครงงานได้

5.1.2 สรุปผลการศึกษาหลักการทำงานของเอ็นโค้ดเดอร์ จากการศึกษาและทดสอบการทำงานของเอ็นโค้ดเดอร์โดยใช้บอร์ด Arduino Uno และเครื่องออสซิลโลสโคปในบทที่ 3 และบทที่ 4 ค่าที่ได้จากบอร์ด Arduino Uno และเครื่องออสซิลโลสโคปนั้นออกมาเป็นในรูปแบบของสัญญาณดิจิตอล ซึ่งถือว่าเอ็นโค้ดเดอร์นั้นสามารถทำงานได้และสามารถนำมาประยุคใช้กับโครงงานได้แต่เอ็นโค้ดเดอร์ที่ดีมีคุณภาพนั้นมีราคาแพง และขอบเขตโครงงานนั้นไม่กว้างนัก ทางผู้จัดทำจึงใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้แทนเอ็นโค้ดเดอร์

5.1.3 สรุปผลการศึกษาการทำงานด้านการเขียนโปรแกรมของตัวต้านทานปรับค่าได้ดังรูปที่ ง.1 (ภาคผนวก ง) และได้ทำการทดลองเพื่อให้ได้ค่าสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากการดึงเชือกเพื่อหมุนตัวต้านทาน โดยค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ ง.1 (ภาคผนวก ง) และเมื่อได้ค่าสัญญาณอนาล็อก ได้ทำการสอบเทียบกับค่าความลึกจริงและนำค่ามาสร้างกราฟดังรูปที่ 4.11 จะได้กราฟสมการเส้นตรง และทางผู้จัดทำได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อหาค่าความลึกจริงจากสมการเส้นตรงดังรูปที่ ง.2 (ภาคผนวก ง) และสามารถวัดค่าได้ถึงระดับความลึกที่ 80 เซนติเมตร (รูปที่ 4.12) ตามเกณฑ์ชี้วัดผลงาน

5.1.4 เมื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับบอร์ด Arduino Mega 2560 ดังรูปที่ 3.13 เพื่อสร้างชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดิน ผลที่ได้จากโหลดเซลล์จะเป็นค่าสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งทางผู้จัดทำได้ทำการเปรียบเทียบค่าสัญญาณกับค่าน้ำหนักจริง ผลที่ได้คือโปรแกรมสามารถคำนวณค่าน้ำหนักออกมาเป็นหน่วย kg และนำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณในสมการที่ 2.1 และแสดงผลออกมาเป็นค่าความต้านทานของดิน ซึ่งมีหน่วยเป็น kPa และผลที่ได้จากการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ คือสามารถส่งสัญญาณเป็นค่าอนาล็อกเข้าบอร์ด Arduino Mega 2560 โดยบอร์ดจะนำค่าอนาล็อกมาคำนวณในสมการ y = 102.3x ซึ่งเป็นสมการแปลงค่า อนาล็อกเป็นค่าความลึกของอุปกรณ์ หน่วยเป็น cm และผลที่ได้จากการต่อหลอดไฟ LED, จอ LCD, ปุ่มรีเซต, ปุ่มบันทึกค่า, Micro SD Card Adapter ซึ่งชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินนั้นสามารถวัดค่าความต้านทานของดิน และวัดความลึกของ

อุปกรณ์ และสามารถรีเซตค่าได้เพื่อปรับค่าที่ได้จากการทำงานให้มีความแม่นยำมากขึ้น สามารถบันทึกค่าที่ได้จากการทำงานได้ลง Micro SD Card โดยบันทึกเป็นไฟล์ Excel และเขียนชื่อไฟล์เป็น “ปีเดือนวัน” (รูปที่ 4.20 (ก))

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. เมื่อใช้งานตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นระยะเวลา 2 - 3 ปี ค่าอนาล็อกที่ได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้จะมีค่าที่ไม่นิ่ง เนื่องจากเกิดการสึกหรอภายใน จึงทำให้ค่าอนาล็อกที่ออกมานั้นไม่สามารถให้ความละเอียดได้ตามเดิม จึงทำให้ต้องเปลี่ยนตัวต้านทานปรับค่าได้เมื่อเกิดการสึกหรอ ทางผู้จัดทำแนะนำให้เปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้หาค่าความลึกแทนตัวต้านทานปรับค่าได้

5.2.2 การเชื่อมต่อของสาย Jumper นั้นมีความแข็งแรงน้อยมากซึ่งเมื่อนำชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินไปใช้งานนอกสถานที่เมื่อชุดอุปกรณ์วัดความต้านทานของดินมีการกระแทกเกิดขึ้น สาย Jumper นั้นจะหลุดออกจากวงจร ซึ่งทางผู้จัดทำแนะนำให้ใช้การเชื่อมต่อแบบอื่นแทนการใช้สาย Jumper

5.2.3 เมื่อใช้งานจอแสดงผล LCD ในพื้นที่มีแสงแดด ซึ่งทำให้มองไม่เห็นค่าต่างๆที่แสดงผ่านจอแสดงผล LCD ทางผู้จัดทำจึงเสนอแนะให้ใช้จอแสดงผลแบบ Electric ink เพื่อให้เมื่อใช้งานในที่มีแสงแดดจะทำให้มองเห็นค่าที่แสดงผลผ่านจอแสดงผลได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ภาควิชาปฐมพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม. (กรกฎาคม 2549). **อุปกรณ์วัดความแข็งของดินชนิดพลวัต (dynamic penetrometer) ออกแบบและพัฒนาโดยภาควิชาปฐพีวิทยา : หลักการและวิธีใช้งาน.** ภาควิชาปฐพีวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม.

[2] สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2556). **ความรู้เรื่องดินสำหรับเยาวชน.** สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2560, จากhttp://osl101.ldd.go.th/easysoils/s_ profile.htm.

[3] Anthony Ozoemena Ani, Constantine C. Mbajiorgu, Clement Onyeaghala Akubuo and Peter Azikiwe Onwualu. (September, 2011). **Proctor cone penetrometer for in-situ soil strength studies in Nigeria.** International Journal of Agricultural and Biological Engineering, Vol.4 No.3 Page : 16 - 25

[4] Humboldt Mfg. Co., (2005). **Static cone penetrometer H - 4120HA.** สืบค้นเมื่อ 7 December 2017, จาก http://www.humboldtmfg.com/corps-of-engineers-cone-penetrometer.html.

[5] Humboldt Mfg. Co., (2005). **Static cone penetrometer (SCP) H - 4210A.** สืบค้นเมื่อ 7 December 2017, จาก http://www.humboldtmfg.com/static-conepenetro meter.html.

[6] Humboldt Mfg. Co., (2005). **Digital, static cone penetrometer (DSCP) HS - 4210.** สืบค้นเมื่อ 7 December 2017, จาก http://www.humboldtmfg.com/digital-static-conepenetrometer.html.

[7] รัตนา การุญบุญญานันท์ และ เกดิษฐ์ กว้างตระกูล. (2558). **การออกแบบอุปกรณ์วัดแรงในแนวแกนและภาระบิด.** รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะวิศกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

[8] Indiamart. Co., (2556). **โหลดเซลล์.** จาก www.indiamart.com/ proddetail/portable-electronic-weight-sensor-load-cell-10-kg-driver-16226779688.html.

[9] ฟิสิกส์ราชมงคล. (2556). **วงจรวิจสโตน บริดจ์.** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก www.rmutphysics.com /charud/virtualexperiment/labphysics2/meter/DC%20Bridge.html.

[10] ไกรสร สืบบุญ. (21 พฤษภาคม 2561). **Weight sensor amplifier module รุ่น HX711.** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก http://www.arduinoall.com/p/646.

[11] บริษัท แฟ็คโตมาร์ท จำกัด. (2559). **Encoder.** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก www.factomart.com/th/rotary-encoder.

[12] นวภัทรา หนูนาค. (2555). **ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Potentiometer).** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7247/potentiometer.

[13] มารุต เรืองจุติโพธิ์พาน. (2553). **การพัฒนาอุปกรณ์อัตโนมัติสำหรับการทดสอบการอัดตัวคายน้ำอย่างรวดเร็ว (Development of an Automatic Apparatus for Rapid Consolidation Testing).** สืบค้นเมื่อ 9 มิถุนายน 2561, จาก https://core.ac.uk/ download/pdf/14979580.pdf.

[14] National instruments (April 2003). **Measuring temperature with an RTD or Thermistor**. สืบค้นเมื่อ 9 มิถุนายน 2561, จาก http://labview360.com/document/an/pdf/an046.pdf

[15] Poundxi.com. (13 เมษายน 2016). **Arduino คืออะไร.** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก https://poundxi.com/arduino-%E0 % B8 % 8 4 % E0 % B8 % B7 % E0 % B8 % AD% E0 % B8 % AD%E0 % B8 % B0%E0%B9%84%E0%B8%A3

[16] ศูนย์การขายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ออนไลน์. (2560). **Micro SD card module.** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก https://www.thaieasyelec.com/ products/interface-modules/sd-mmc/micro-sd-card-module-spi-interface-detail.html.

[17] ศูนย์การขายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ออนไลน์. (2558). **Real time clock (RTC).** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก https://www.arduitronics.com/article/35/real-time-clock-ds3231.

[18] บริษัท วีนัส ซัพพลาย จำกัด. (2555). **จอแสดงผล (LCD).** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก https://thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/การใช้งาน-character-lcd-display-กับ-arduino-ตอนที่1-รูปแบบการเชื่อมต่อแบบ-parallel.html.

[19] โสภณ มหาเจริญ. (2559). **สายไฟ (Jumper wires).** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก http://courseware.npru.ac.th/course2.php?course=37.

[20] บริษัท เอ็ม ที ซอฟต์ จำกัด. (2560). **ลำโพง (Buzzer).** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก http://mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/3714-buzzer -บลัซเซอร์-คืออะไร.html.

[21] บริษัท แฟ็คโตมาร์ท จำกัด. (2559). **ปุ่มกด (Push button switch).** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก https://www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-push-button-switch/.

[22] บริษัท พีเอสพี เทค จำกัด. (2558). **ปุ่มกดแบบกระดก (Rocker Switch).** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก http://www.psptech.co.th/ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสวิตช์-20290.page.

[23] บริษัท ตาดีเทคโนโลยี จำกัด. (29 มีนาคม 2556). **หลอดไฟ LED.** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก http://futuretechled.blogspot.com/2013/03/led_29.html.

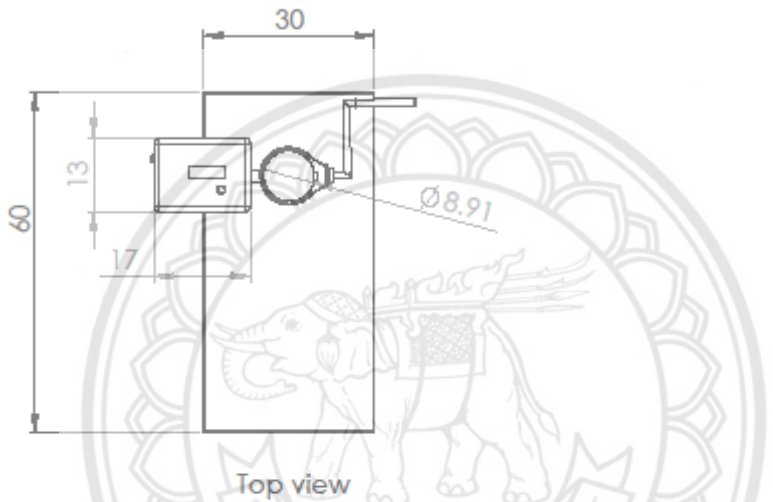
[24] อิเล็กเซอร์กิต ดอทคอม. (10 กฎกราคม 2555). **แผ่น Printed Circuit Board.** สืบค้นเมื่อ 16 มิถุนายน 2561, จาก http://www.electcircuitz.com/pcb-คืออะไร.html.easysoils/s_profile.htm.

ภาคผนวก ก

เขียนแบบ Cone penetrometer G2 แบบเบื้องต้น

Isomatric view

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY	
Project# : Development of cone penetrometer	
Drawing Name : Cone penetrometer	A4
SCALE:1:20	Plate 1



FACULTY OF ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

TITLE:

Development of
cone penetrometer

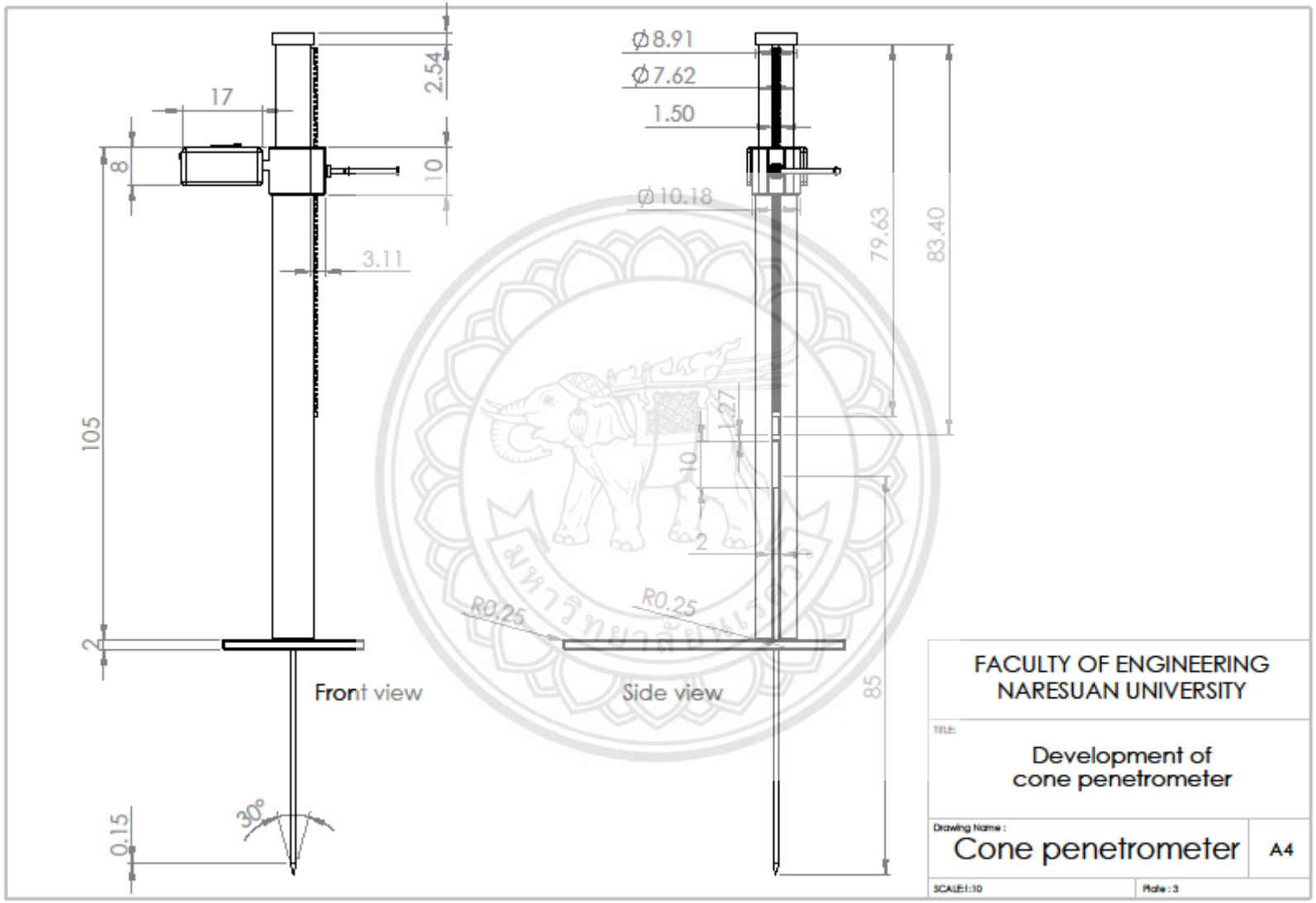
Drawing Name :

Cone penetrometer

A4

SCALE:1:10

Plate : 2


17
2.54
8
10
3.11
105
2
0.15
30°
Front view
Ø8.91
Ø7.62
1.50
Ø10.18
79.63
83.40
27
10
2
R0.25
R0.25
85
Side view
FACULTY OF ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY
TITLE:
Development of
cone penetrometer
Drawing Name :
Cone penetrometer
A4
SCALE:1:10
Plate : 3

ภาคผนวก ข

โปรแกรม Arduino เมื่อเชื่อมต่อกับ Load cell

Load Cell I Arduino 1.8.5

```
#include "HX711.h"
HX711 cell(3,2); //เลือกช่องดิจิตอลเชื่อมต่อสัญญาณ (DT,SCK)
float x; //ประกาศตัวแปร x
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  x = cell.read();   //ให้ตัวแปร x เท่ากับค่าสัญญาณที่โหลดเซลล์ส่งถึง HX711
  Serial.println(x); //แสดงผลค่า x
}
```

รูปที่ ข.1 โปรแกรมทดสอบโหลดเซลล์

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองจากบอร์ด Arduino Uno

น้ำหนัก (กิโลกรัม)	**สัญญาณทางไฟฟ้า (Strain)**		
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**
0.00	141,545.8	141,461	141,367
1.81	522,080.4	522,179	521,964
3.68	909,636.4	909,797	909,413
5.50	1,286,508	1287,804	1,287,426
7.32	1,663,957	1,663,479	1,663,123
9.18	2,046,565	2,047,290	2,046,865
7.32	1,663,111	1664654	1,663,378
5.50	1,287,466	1,287,397	1,287,546
3.68	909,221.5	908,693	909,319
1.81	522,051.9	521,823	521,989
0.00	141,517.5	141,448	141,630

Load Cell I Arduino 1.8.5

```
#include "HX711.h"
HX711 cell(3,2);  //เลือกช่องดิจิตอลเชื่อมต่อสัญญาณ (DT,SCK)
float Weight;  //ประกาศตัวแปร น้ำหนัก
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  Weight = (cell.read()-144373.91807)/207544.70308;  //เขียนสมการเพื่อหาค่าน้ำหนัก
  Serial.println(Weight); //แสดงผลที่ได้จากสมการ
}
```

รูปที่ ข.2 โปรแกรมชั่งน้ำหนัก

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองจากเครื่อง SCXI

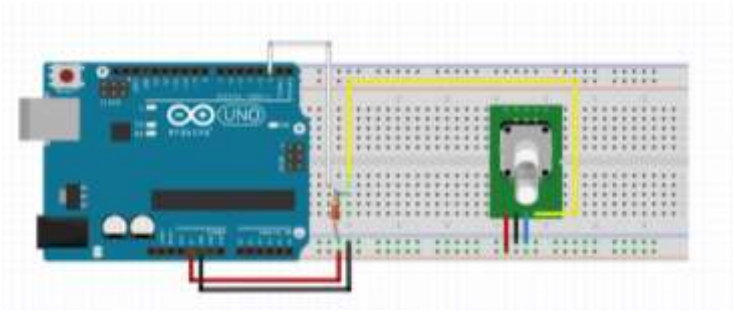
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	**ความเครียด (Strain)**		
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**
0.00	-2.43×10^{-7}	-3.05×10^{-7}	-2.55×10^{-7}
1.81	8.80×10^{-5}	8.84×10^{-5}	8.82×10^{-5}
3.68	1.76×10^{-4}	1.77×10^{-4}	1.78×10^{-4}
5.50	2.65×10^{-4}	2.67×10^{-4}	2.65×10^{-4}
7.32	3.53×10^{-4}	3.55×10^{-4}	3.53×10^{-4}
9.18	4.42×10^{-4}	4.42×10^{-4}	4.42×10^{-4}
7.32	3.52×10^{-4}	3.54×10^{-4}	3.53×10^{-4}
5.50	2.65×10^{-4}	2.67×10^{-4}	2.65×10^{-4}
3.68	1.76×10^{-4}	1.77×10^{-4}	1.78×10^{-4}
1.81	8.79×10^{-5}	8.82×10^{-5}	8.83×10^{-5}
0.00	-4.12×10^{-7}	-3.95×10^{-7}	-3.45×10^{-7}

ภาคผนวก ค

โปรแกรม Arduino เมื่อเชื่อมต่อกับ Encoder

เชื่อมต่อ Encoder เข้ากับบอร์ด Arduino Uno

โดยการเชื่อมต่อ Encoder นั้น ทางผู้จัดทำได้ทำการต่อสาย 5V และ GND ของบอร์ดเข้ากับ Encoder และต่อสายสัญญาณของ Encoder (สายสีเหลือง) เข้ากับพอร์ต Digital 2 ของบอร์ด Arduino Uno และต่อสัญญาณ (สายสีฟ้า) เข้ากับ GND

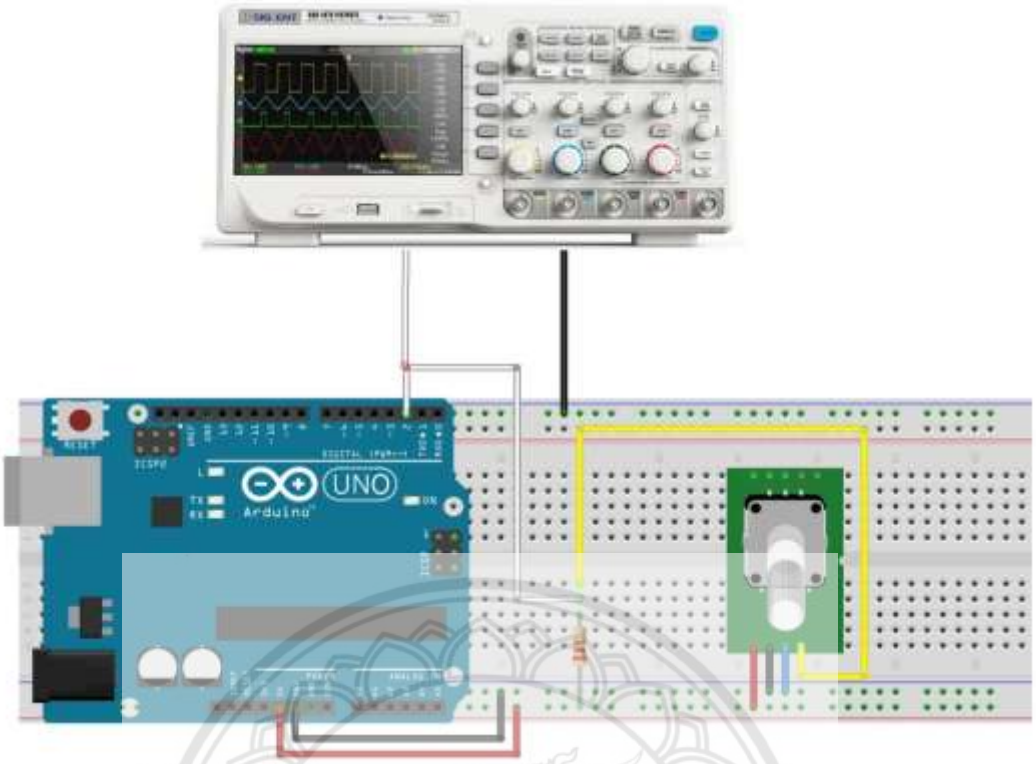


รูปที่ ค.1 การเชื่อมต่ออ็นโค้ดเดอร์เข้ากับบอร์ด Arduino Uno

Encoder I Arduino 1.8.5

```
int sp1 = 2;  //เชื่อมต่อสายสัญญาณจาก Encoder เข้าพอร์ต Digital 2
void setup()
 {
pinMode(sp1, INPUT);  //ประกาศอินพุต
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
if (digitalRead(sp1) == 1) //เมื่อสัญญาณดิจิตอลเท่ากับ 1
{
Serial.println("ON "); // จะแสดงผล “ON”
}
else //เมื่อสัญญาณดิจิตอลไม่เท่ากับ 1
{
Serial.println("OFF "); // จะแสดงผล “OFF”
}
delay(500); //ให้โปรแกรมอ่านค่าทุกๆครึ่งวินาที
}
```

รูปที่ ค.2 เขียนโปรแกรม



รูปที่ ค.3 เชื่อมต่อเครื่องออสซิลโลสโคปเข้ากับวงจร

ภาคผนวก ง

โปรแกรม Arduino เมื่อเชื่อมต่อกับตัวต้านทานปรับค่าได้

Potentiometer I Arduino 1.8.5

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include "HX711.h"
LiquidCrystal lcd(12, 11, 4, 5, 6, 7);
float Turn,Depth,Reset,Weight;
const int buttonPin = 3;
int buttonNEW = 0;
int buttonState = 0;
int led = 13;
int buzzer = 8;
float T,D,W;
float a=0;
float b=0;
int i=0;
void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(buzzer,OUTPUT);
  pinMode(buttonNEW,INPUT);
  pinMode(buttonState,INPUT);
  Serial.begin(9600);
  }
void loop()
{
  buttonNEW = digitalRead(buttonPin);
  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  Depth=analogRead(2);

  i++;
  a=Weight;
  b=Depth;
```

```
if(buttonState==0)
{
  lcd.clear();
  if(Turn<0)
    {
     lcd.setCursor(0, 0);
     //lcd.print("Turn = 0 ");
     lcd.print("Weight = 0 Kg");
     lcd.setCursor(0, 1);
     lcd.print("Depth = 0 ");
    }
     else if (Turn>=0<1024)
    {
                Turn=Turn-T;
                Depth=Depth-D;
                Weight=Weight-W;
                lcd.setCursor(0, 0);
                lcd.print("Depth =");
                lcd.print(Depth);
                lcd.print(" cm ");
       }
}
   else if(buttonState==1)
   {
    lcd.clear();
      {
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Reset");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Reset");
        D=Depth;
        W=Weight;
         Serial.println(D);
```

```
            return D;
          }
        }
 delay(300);
}
```

รูปที่ ง.1 เขียนโปรแกรมอ่านค่าสัญญาณอนาล็อก จากตัวต้านทานปรับค่าได้

Potentiometer_2 I Arduino 1.8.5

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include "HX711.h"
LiquidCrystal lcd(12, 11, 4, 5, 6, 7);
float Turn,Depth,Reset,Weight;
const int buttonPin = 3;
int buttonNEW = 0;
int buttonState = 0;
int led = 13;
int buzzer = 8;
float T,D,W;
float a=0;
float b=0;
int i=0;
void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(buzzer,OUTPUT);
  pinMode(buttonNEW,INPUT);
  pinMode(buttonState,INPUT);
  Serial.begin(9600);
  }
void loop()
{
```

```
buttonNEW = digitalRead(buttonPin);
buttonState = digitalRead(buttonPin);
Depth=(analogRead(2)-0.8627)/1.9431;
i++;
a=Weight;
b=Depth;
if(buttonState==0)
{
  lcd.clear();
  if(Turn<0)
    {
     lcd.setCursor(0, 0);
     lcd.print("Weight = 0 Kg");
     lcd.setCursor(0, 1);
     lcd.print("Depth = 0 ");
    }

  else if (Turn>=0<1024)
    {

                Depth=Depth-D;
                Weight=Weight-W;
                lcd.setCursor(0, 0);
                lcd.print("Depth =");
                lcd.print(Depth);
                lcd.print(" cm ");
    }
}
   else if(buttonState==1)
   {
    lcd.clear();
      {
        lcd.setCursor(0, 0);
```

```
            lcd.print("Reset");
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("Reset");
            D=Depth;
            W=Weight;
             Serial.println(D);
             return D;
          }
       }
 delay(300);
}
```

รูปที่ ง.2 เขียนโปรแกรมหาความลึกจริง เมื่อสอบเทียบค่าสัญญาณอนาล็อกกับค่าความลึกจริง

ตารางที่ ง.1 ผลการสอบเทียบค่าความลึกจริงกับสัญญาณ Analog

ความลึก	สัญญาณ Analog		
(เซนติเมตร)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	**ครั้งที่ 3**
0	0	0	0
5	11	10	12
10	20	20	21
15	30	30	32
20	40	39	42
25	50	50	51
30	60	59	61
35	69	70	72
40	79	79	82
45	88	89	91
50	98	99	101
55	107	110	112
60	117	119	121
65	126	130	132

70	137	139	142
75	147	149	152
80	157	159	161
75	146	148	151
70	136	139	140
65	125	127	130
60	117	118	119
55	106	108	109
50	96	97	99
45	86	87	89
40	76	75	80
35	66	66	69
30	56	55	58
25	46	45	50
20	36	35	39
15	26	27	30
10	17	17	20
5	7	7	10
0	0	0	0

ภาคผนวก จ

โปรแกรม Arduino ในการรวมอุปกรณ์ต่างๆ

Cone Penetrometer I Arduino 1.8.5

```
#include <LiquidCrystal.h>                  //ประกาศ Library ของจอ LCD
#include "HX711.h"                          //ประกาศ Library ของ HX711
#include <SD.h>                             //ประกาศ Library ของ SD Card
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"                         //ประกาศ Library ของ Real Time Clock
#include <string.h>
#if defined(ARDUINO_ARCH_SAMD)
#define Serial SerialUSB
#endif
File Myfile;
const int chipSelect=53;  // ใช้ Digital 53 เชื่อมต่อเข้ากับ CS ของ MicroSD Card Adapter
RTC_Millis rtc;
HX711 cell(10,9);                            //ใช้ Digital 10,9 เชื่อมต่อสัญญาณ (DT,SCK)
LiquidCrystal lcd(12, 11, 4, 5, 6, 7);       //กำหนดขาสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อจอ LCD
float Turn,Depth,Reset,Weight,pressure;      //ประกาศตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม
const int buttonPin = 3;                     //ใช้ Digital 3 เชื่อมต่อปุ่มรีเซต
const int buttonNEW = 2;                     //ใช้ Digital 2 เชื่อมต่อปุ่มบันทึกค่า
int create = 0;
int buttonState = 0;
int led = 13;                                //ใช้ Digital 13 เชื่อมต่อหลอดไฟ LED
int buzzer = 8;                              //ใช้ Digital 8 เชื่อมต่อลำโพง
float T,D,W,P;                               //ประกาศตัวแปรที่เก็บค่าเก่า
float numD ,numW ,numP ,numT ,num1 ,num2 ,num3 ,num4 ;
float a=0 , b=0 , c=0 , d=0 ;
int i=0 , n=1;

bool Card_Ready = true;                      //ประกาศตัวแปร
bool create_file = true;
```

```
bool TimeUp = true;
bool loggingEnable = false;

DateTime t_now;
short t_year;                                   //ประกาศตัวแปร
short t_month;
short t_day;
short t_hour;
short t_minute;
short t_second;

String file_name;                               //สร้างตัวแปร
String header = "line,pressure(KPa),Depth(cm),hour,minute";  //เขียนคอลัมน์ในไฟล์ excel

void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);                             //หน้าจอ LCD 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด
  pinMode(led, OUTPUT);                         //ประกาศ Output ของหลอดไฟ LED
  pinMode(buzzer,OUTPUT);                       //ประกาศ Output ของลำโพง
  pinMode(buttonNEW,INPUT);                     //ประกาศ Input ของปุ่มบันทึกค่า
  pinMode(buttonState,INPUT);                   //ประกาศ Input ของปุ่มรีเซต
  Serial.begin(9600);
  rtc.begin(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    checkSD();                                  //ทำคำสั่งเช็ค SD Card
}

void checkSD()
{
  lcd.print("check SD card");                  //เช็ค SD Card
  if (!SD.begin(chipSelect))
```

```
  {
    lcd.setCursor(0,2);                    //เลือกแสดงผลตัวอักษรแรก บรรทัดที่ 2
    lcd.print("Card failed");              //เมื่อไม่พบ SD Card ให้แสดงผล Card failed
    delay(2000);
    return;
  }
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("SD card OK");                //เมื่อพบ SD Card ให้แสดงผล SD card OK
  delay(2000);
}

void loop()
{
   if(create_file && Card_Ready)      //เช็ค create_file && Card_Ready มีค่า true หรือไม่
   {
    createFile();                       //ถ้า true ให้ทำคำสั่ง createFile
   }
  create = digitalRead(buttonNEW);          //เก็บค่า Digital จากปุ่มบันทึกค่า
  buttonState = digitalRead(buttonPin);     //เก็บค่า Digital จากปุ่มรีเซต

  Turn=(analogRead(2)/102.30);          //สมการจำนวนรอบการหมุนตัวต้านทาน
  Depth=(Turn*10);                      //สมการความลึกของอุปกรณ์
  Weight=(cell.read()-141515.00)/210306.077;     //สมการค่าน้ำหนัก
  pressure=(Weight*9.81)/12.83;         //สมการความต้านทานของดิน
    i++;
  a=Weight;                              //ให้ตัวแปร a เก็บค่าเก่าของค่าน้ำหนัก
  b=Depth;                               //ให้ตัวแปร b เก็บค่าเก่าของค่าความลึก
  c=pressure;                           //ให้ตัวแปร c เก็บค่าเก่าของค่าความต้านทานของดิน
  d=Turn;                               //ให้ตัวแปร d เก็บค่าเก่าของค่าจำนวนรอบการหมุน
  fun();                                //ทำคำสั่ง fun
```

```
   delay(300);
}
void fun()
{
  if(buttonState==0)                    //เมื่อไม่กดปุ่มรีเซต
  {
    lcd.clear();                        //เคลียร์หน้าจอ LCD
    if(Turn<0)
     {
      lcd.setCursor(0, 0);              //เลือกแสดงผลตัวอักษรแรก บรรทัดที่ 1
      lcd.print("PS = 0 KPa");          //แสดงผล PS = 0 KPa
      lcd.setCursor(0, 1);              //เลือกแสดงผลตัวอักษรที่สอง บรรทัดที่ 1
      lcd.print("DE = 0 cm ");          //แสดงผล DE = 0 cm
     }

    else if (Turn>=0<1024)              //ถ้าค่าจำนวนรอบการหมุนมีค่า >=0<1024
     {
        lcd.clear();
        {
            Turn=Turn-T;                //นำค่าหลังจากกดปุ่มลบกับค่าก่อนกดปุ่ม
            pressure=pressure-P;
            Depth=Depth-D;
            Weight=Weight-W;
        if(pressure<0.00 && Weight<0.00 && Depth<0.00)    //ถ้าค่าต่างๆน้อยกว่า 0.00
        {
        lcd.setCursor(0, 0);                //เลือกแสดงผลตัวอักษรแรก บรรทัดที่ 1
        lcd.print("PS: 0.00 KGa NOT ");     //แสดงผล PS: 0.00 KGa NOT
        lcd.setCursor(0, 1);                //เลือกแสดงผลตัวอักษรที่สอง บรรทัดที่ 1
        lcd.print("DE: 0.00 cm  NOT ");     //แสดงผล DE: 0.00 cm  NOT
        }
```

```
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.print("PS:");                  //แสดงผล "PS:"
            lcd.print(pressure);
            lcd.print(" KPa NOT");          //แสดงผล " KPa NOT" หลังค่าความต้านทานของดิน
            lcd.setCursor(0, 1);
            lcd.print("DE:");                 //แสดงผล "DE:"
            lcd.print(Depth);
            lcd.print(" cm  NOT");          //แสดงผล " cm NOT" หลังค่าความต้านทานของดิน
        }
    }
}
   else if(buttonState==1)                  //เมื่อกดปุ่มรีเซต
   {
    lcd.clear();
      {
        lcd.setCursor(0, 0);                //เลือกแสดงผลตัวอักษรแรก บรรทัดที่ 1
        lcd.print("Reset");                 //แสดงผล Reset
        lcd.setCursor(0, 1);                //เลือกแสดงผลตัวอักษรที่สอง บรรทัดที่ 1
        lcd.print("Reset");                 //แสดงผล Reset


        P=pressure;
        D=Depth;
        W=Weight;

         return P;                  //นำค่า pressure ไปเก็บค่าในตัวแปร P
         return D;                 //นำค่า Depth ไปเก็บค่าในตัวแปร D
      }
   }
  if(create==1)                 //ถ้ากดปุ่มบันทึก
```

```
{
      numD=Depth;
      numW=Weight;
      numP=pressure;
      numT=Turn;
      numT=numT-num1;
      numP=numP-num2;
      numD=numD-num3;
      numW=numW-num4;

      if(numD<=0 && numW<=0 && numP<=0)
      {
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("PS: 0.00 KGa SAVE");

      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("D : 0.00 cm SAVE");
      }
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("PS:");
      lcd.print(numP);
      lcd.print(" KPa SAVE");

      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("DE:");
      lcd.print(numD);
      lcd.print(" cm  SAVE");

     Myfile = SD.open(file_name, FILE_WRITE);   //เปิด folder
     if(Myfile)
```

```
{

  Myfile.print(n);                  //เขียนคอลัมน์แรกเป็นลำดับข้อมูล
  Myfile.print(",");                //ขั้นเพื่อทำให้โปรแกรมสามารถเขียนคอมลัมน์ต่อไปได้
  Myfile.print(a);                  //เขียนคอลัมน์ที่ 2 เป็นค่าความต้านทานของดิน
  Myfile.print(",");
  Myfile.print(b);                  //เขียนคอลัมน์ที่ 3 เป็นค่าความลึก
  Myfile.print(",");
  Myfile.print(String(t_hour));           //เขียนคอลัมน์ที่ 4 เป็นเวลา(ชั่วโมง) ที่ทำงาน
  Myfile.print(",");
  Myfile.println(String(t_minute));    //เขียนคอลัมน์ที่ 5 เป็นเวลา(นาที) ที่ทำงาน
  Myfile.close();
}

 if(buttonState==1)                 //เมื่อกดปุ่มรีเซต
    {
      lcd.clear();
        {
          lcd.setCursor(0, 0);
          lcd.print("Reset");
          lcd.setCursor(0, 1);
          lcd.print("Reset");
          num2=numP;       //นำค่าความต้านทานของดินหลังกดปุ่มมาลบกับค่าก่อนหน้า
          num3=numD;       //นำค่าความลึกหลังกดปุ่มมาลบกับค่าก่อนหน้า
          num4=numW;       //นำค่าน้ำหนักหลังกดปุ่มมาลบกับค่าก่อนหน้า
          return num2;
          return num3;
          return num4;
        }
    }
```

```
        n++;
    }
if (Depth > 0.00 && Depth < 4.98 )          //ถ้าค่าความลึกอยู่ระหว่าง 0.00-4.98 cm
  {
    digitalWrite(led, LOW);                 //หลอดไฟ LED ดับ
     digitalWrite(buzzer, LOW);             //ลำโพงไม่มีเสียง
  }
  if (Depth > 4.99 && Depth < 5.99 )        //ถ้าค่าความลึกอยู่ระหว่าง 4.99-5.99 cm
  {
    digitalWrite(led, HIGH);                //หลอดไฟ LED ติด
  }
  if (Depth > 6.00 && Depth < 9.98 )
  {
    digitalWrite(led, LOW);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
  }
  if (Depth > 9.99 && Depth < 10.99 )
  {
    digitalWrite(led, HIGH);
  }
  if (Depth > 11.00 && Depth < 14.98 )
  {
    digitalWrite(led, LOW);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
  }
  if (Depth > 14.99 && Depth < 15.99 )

{
    digitalWrite(led, HIGH);
  }
```

```
if (Depth > 16.00 && Depth <19.98  )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
if (Depth > 19.99 && Depth < 20.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
if (Depth > 21.00 && Depth < 24.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
if (Depth > 24.99 && Depth < 25.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
if (Depth > 26.00 && Depth < 29.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
if (Depth > 29.99 && Depth < 30.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
if (Depth > 31.00 && Depth < 34.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
```

```
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
if (Depth > 34.99 && Depth < 35.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
if (Depth > 36.00 && Depth < 39.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
if (Depth > 39.99 && Depth < 40.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
if (Depth > 41.00 && Depth < 44.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
if (Depth > 44.99 && Depth < 45.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
if (Depth > 46.00 && Depth < 49.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
if (Depth > 49.99 && Depth < 50.99 )
```

```
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
if (Depth > 51.00 && Depth < 54.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
if (Depth > 54.99 && Depth < 55.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
if (Depth > 56.00 && Depth < 59.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
if (Depth > 59.99 && Depth < 60.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
if (Depth > 61.00 && Depth < 64.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
if (Depth > 64.99 && Depth < 65.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
```

```
if (Depth > 66.00 && Depth < 69.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}

if (Depth > 69.99 && Depth < 70.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
 if (Depth > 71.00 && Depth < 74.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
 if (Depth > 74.99 && Depth < 75.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
 if (Depth > 76.00 && Depth < 79.98 )
{
  digitalWrite(led, LOW);
  digitalWrite(buzzer, LOW);
}
 if (Depth > 79.99 && Depth < 80.99 )
{
  digitalWrite(led, HIGH);
}
if (Depth > 81.00 && Depth < 90.00 )
{
```

```
    digitalWrite(led, LOW);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
  }

  if (analogRead(2)>920.7 && analogRead(2)<100000)
  {                                  //ถ้าค่าอนาล็อกมีค่ามากกว่า 920.7 และ น้อยกว่า 100000
    digitalWrite(led, HIGH);         //หลอดไฟ LED ติด
    digitalWrite(buzzer, HIGH);      //ลำโพงส่งเสียงดัง
     lcd.clear();
     lcd.setCursor(0, 0);
     lcd.print("STOP!!!!!!!!!!!!");       //หน้าจอ LCD แสดงผล “STOP!!!!!!!!!!!!”
     lcd.print(Turn);
     lcd.setCursor(0, 1);
     lcd.print("ERROR (_)?");       //หน้าจอ LCD แสดงผล “ERROR (_)?"
  }
}
void readPresentTime(void)     //อ่านเวลาปัจจุบันและเก็บค่าไว้ที่ตัวแปรต่างๆ
{
  t_now = rtc.now();
  t_year   = t_now.year();
  t_month  = t_now.month();
  t_day    = t_now.day();
  t_hour   = t_now.hour();
  t_minute = t_now.minute();
  t_second = t_now.second();
}

void createFileName(void) {
  file_name = "";                  //ให้ file_name เป็นค่าว่าง
```

```
  readPresentTime();              //ทำงานคำสั่งอ่านเวลาปัจจุบัน


   if(t_year < 10) {
    file_name = file_name + "0" + String(t_year);
  }                                                  //ถ้าตัวเลขมีค่าน้อยกว่า 10 ให้ใส่ 0 ข้างหน้า
else {
    file_name = file_name + String(t_year);
  }                                                  //ถ้าตัวเลขมีค่ามากกว่า 10 ให้ใส่เป็นชื่อไฟล์
  if(t_month < 10) {
    file_name = file_name + "0" + String(t_month);
  } else {
    file_name = file_name + String(t_month);
  }
  if(t_day < 10) {
    file_name = file_name + "0" + String(t_day);
  } else {
    file_name = file_name + String(t_day);
  }
  /*if(t_hour < 10) {
    file_name = file_name + "0" + String(t_hour);
  } else {
    file_name = file_name + String(t_hour);
  }
  if(t_minute < 10) {
    file_name = file_name + "0" + String(t_minute);
  } else {
    file_name = file_name + String(t_minute);
  }*/
  file_name = file_name + ".csv";   //นำค่าปีเดือนวันเวลามาใส่ในตระกูลไฟล์ Excel
}
```

```
void createFile(void)
{
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Creating File ...");
  Serial.print("Creating File ... ");
  createFileName();
  while(SD.exists(file_name)){
 createFileName();
  }

  File dataFile = SD.open(file_name, FILE_WRITE);            //เปิดไฟล์ Excel
  if (dataFile) {
    dataFile.println(header);                  //เขียนตัวแปรที่ตั้งไว้ลงคอลัมน์ของแต่ละแถว
    dataFile.close();
  } else {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("error opening");          //แสดงผลคำว่า “error opening” เมื่อ สร้างไฟล์ไม่สำเร็จ
    Serial.print("error opening ");
    Serial.println(file_name);
  }
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("File created");                  //แสดงผลคำว่า File created
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print(file_name);                       //แสดงผลชื่อไฟล์
  Serial.println("File created....");
  Serial.print("File name is ");
  Serial.println(file_name);

  create_file = false;                    //ให้ค่า create_file เท่ากับค่า false
```

```
  delay(1000);
  lcd.clear();
}
```

รูปที่ จ.1 โปรแกรม Arduino ในการรวมอุปกรณ์ต่างๆ